This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

PRESS 4.18.
SHELF a.
No. 23.

E

600038040L

~~C 7/16~~

1933 e 367/5

SYSTÈME
DE CHIMIE.

SUPPLÉMENT.

Extrait des livres de fonds le plus récemment publiés par MÉQUIGNON-MARVIS, *et de ceux sous presse à publier incessamment.*

ACCUM. Traité pratique sur l'usage et le mode d'application des réactifs chimiques, fondé sur ses expériences; traduit de l'anglais par Riffaut. Paris, 1819, 1 vol. in-8. 5 f.

BARBIER. Traité élémentaire de matière médicale. Paris, 1819 et 1820, 3 forts vol. in-8. Prix br. 22 f.

BÉGIN. Principes généraux de physiologie pathologique, coordonnés d'après la doctrine de M. Broussais. Paris, 1821, 1 vol. in-8. br. 6 f.

BROUSSAIS. Examen des doctrines médicales et des systèmes de Nosologie, ouvrage dans lequel se trouve fondu l'Examen de la doctrine médicale généralement adoptée, etc.; précédé de propositions renfermant la substance de la médecine physiologique. Paris, août 1821, 2 vol. in-8. br. 14 f.

CULLEN. Éléments de médecine-pratique, trad. et augment. de notes par Bosquillon, et revus par De Lens, 3 vol. in-8. 18 f.

GARDANNE, de la Ménaupose, ou de l'âge critique des femmes de 45 à 50 ans. Paris, 1821, 1 vol. in-8. 6 f.

ITARD. Traité complet de la structure de l'oreille et des maladies qui attaquent l'organe de l'ouïe, suivi des moyens curatifs. Paris, 1821, 2 vol. in-8, figures, br. 13 f. 50 c.

MAGENDIE. Formulaire pour la préparation et l'emploi de plusieurs nouveaux médicaments; tels que la noix vomique, la morphine, l'acide prussique, la strychnine, la vératrine, les alcalis extraits des quinquinas, l'iode, etc. Paris, 1821, in-12. br. 1 f. 50 c.

Idem. Précis élémentaire de physiologie, 2 vol. in-8. 10 f. 50 c.

MÉRAT. Nouvelle Flore des environs de Paris, 2e édit. 2 vol. grand in-18. Paris, 1821, br. 12 f.

MONGELLAT. Essai sur les irritations intermittentes, ou nouvelle théorie des maladies périodiques, fièvres larvées, fièvres pernicieuses, et des fièvres intermittentes en général, exposée suivant la doctrine de M. Broussais, et appuyée d'un grand nombre d'observations. 2 vol. in-8. br. 12 f.

DE L'IMPRIMERIE DE L.-T. CELLOT.

SUPPLÉMENT

A LA TRADUCTION FRANÇAISE

DE LA CINQUIÈME ÉDITION

DU SYSTÈME DE CHIMIE,

PAR TH. THOMSON,

Présentant ce qui a été fait de nouveau dans cette science, tant en France que dans l'étranger, depuis l'époque (1819) où cette traduction a paru, et contenant la traduction de tout ce que, dans une sixième édition publiée à Londres en 1821, l'auteur anglais a ajouté à son édition précédente ;

PAR Jn RIFFAULT,

Ex-Régisseur général des poudres et salpêtres, Membre de la Légion-d'Honneur, Traducteur des 3e et 5e éditions du Système de chimie de Th. Thomson.

A PARIS,

CHEZ MÉQUIGNON-MARVIS, LIBRAIRE

POUR LA PARTIE DE MÉDECINE,

RUE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE, N° 3.

1822.

AVIS.

On a pensé qu'il était convenable d'adopter, pour ce Supplément, l'ordre des matières établi dans la cinquième édition du Système de chimie par M. Th. Thomson. Ce plan a semblé devoir être le plus propre à la classification méthodique des additions que l'auteur anglais a faites à cette édition dans celle qu'il a publiée depuis, comme aussi il facilitait le moyen d'insérer à leur véritable place, et à mesure qu'ils se présentaient, les faits nouveaux en chimie, qui remettent l'ouvrage de M. Thomson au niveau actuel de la science.

La cinquième édition a été comparée avec soin, et page à page, avec la sixième, qui a tout récemment paru, afin que rien ne fût omis de ce que celle-ci pouvait contenir de plus que l'autre; et qu'ainsi ce Supplément offrît à ceux qui ont la traduction française de la cinquième édition la traduction complète de la sixième. R.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS CE VOLUME.

CORPS IMPONDÉRABLES.

De la lumière.....Pag. 1
Nature de la lumière.....*ibid.*
Diffraction de la lumière..... 4
Anneaux colorés..... 70
Réflexion et réfraction..... 75
Double réfraction et polarisation..... 87
Coloration des lames cristallisées..... 113
Modification que la réflexion imprime à la lumière polarisée..... 133

DE LA CHALEUR.

Théorie..... 138
Dilatation des gaz..... 141
Termes d'ébullition de l'eau à différentes hauteurs du baromètre..... 142
Pesanteur spécifique de la vapeur d'eau.....*ibid.*
Elasticité de la vapeur d'eau..... 143
Table de l'élasticité de la vapeur d'eau..... 144
Pesanteurs spécifiques de vapeurs..... 150
Chaleur latente de la vapeur d'eau..... 154
Chaleur latente d'autres vapeurs..... 157
Chaleurs spécifiques des corps à différentes températures.*ibid.*
Chaleur produite par la combustion des gaz..... 159
Température à laquelle des corps brûlent..... 160
Effet de l'air raréfié..... 161
Effets de mélanges combustibles étendus.....*ibid.*

DE L'ÉLECTRICITÉ.

Nouvel électromètre très-sensible..... 163
Distinction des deux espèces d'électricité..... 166
Exposé des nouvelles découvertes sur le magnétisme et l'électricité..... 168
Définition du courant électrique.....*ibid.*
Propriété que présente la pile quand ses extrémités communiquent par un fil conducteur..... 170
Attractions et répulsions des courans électriques..... 171
Action mutuelle de deux courans non parallèles..... 177

Action d'un courant qui parcourt une ligne sinueuse..... 179
Lois des attractions et des répulsions entre deux courans électriques, dirigés d'une manière quelconque..... .. 182
Effet analogue à la direction de l'aiguille aimantée..... 186
Effet analogue à l'inclinaison de l'aiguille aimantée..... 188
Action d'un conducteur voltaïque sur l'aiguille aimantée. 189
Le courant, qui a lieu dans la pile, agit comme celui du fil conducteur..... 190
Galvanomètre proposé par M. Ampère.....*ibid.*
Moyens de déterminer la direction que le courant électrique donne à une aiguille aimantée, soustraite à l'action de la terre..... 192
Action d'un aimant sur un conducteur mobile..... 195
Recherches sur la cause de ces phénomènes..... 196
Conséquences de l'égalité d'action observée entre deux conducteurs, l'un rectiligne, et l'autre plié en ligne sinueuse..... 201
Analogie entre les surfaces couvertes de courans électriques, et celles qui rayonnent de la chaleur ou de la lumière..... 204
Application de ces considérations aux propriétés générales des aimans.....*ibid.*
Raison pour laquelle l'action d'un aimant semble concentrée vers ses extrémités..... 207
Composition et décomposition des petites portions de courans électriques..... 208
Explication de l'action directrice d'un courant sur un autre courant..... 209
Explication des faits observés par M. Oersted..... 212
Attraction et répulsion d'un aimant par un fil conducteur. 214
Action attractive et répulsive d'un aimant sur un conducteur mobile..... 219
Expérience de M. Erman..... 220
Expérience de M. Boisgiraud..... 222
Expérience de sir Humphry Davy..... 223
Expériences de MM. Biot et Savart..... 224
Imitation des effets de l'aimant par des fils conducteurs.. 226
Conducteurs pliés en spirales..... 228
Conducteurs pliés en hélices..... 230
Expériences de M. Arago..... 233
Aimantation de l'acier par le fil conducteur plié en hélice.*ibid.*
Aimantation de l'acier par l'électricité due au frottement. 235
Appareils de M. de La Rive.....*ibid.*
Télégraphe électro-magnétique..... 236
Action d'une pile formée d'un seul couple..... 237
Expériences de M. Schweiger.....*ibid.*
Action mutuelle des aimans..... 238
Aimantation d'un barreau par l'action d'un courant, en considérant l'aimant comme un assemblage de courans électriques..... 244

Causes auxquelles on peut attribuer les courans électriques de la terre et des aimans..... 253

CORPS PONDÉRABLES.

Soutiens simples de la combustion..... 257
Du chlore..... *ibid.*
Chlorures..... *ibid.*
Sous-bichlorate de chaux..... *ibid.*
Chlorure de chaux..... 261
De l'iode..... 264
Composé triple d'iode, de carbone et d'hydrogène..... *ibid.*
Combustibles simples acidifiables..... 265
Du carbone..... *ibid.*
Acide carbonique et oxide de carbone..... *ibid.*
Oxide hydro-carbonique..... 266
Chlorures de carbone..... 267
Perchlorure..... *ibid.*
Protochlorure..... 268
Du phosphore..... 269
Acide phosphorique..... *ibid.*
Acide phosphoreux..... 271
Acide hypo-phosphoreux..... 274
Proto-chlorure de phosphore..... 277
Perchlorure de phosphore..... 278
Du soufre..... *ibid.*
Acide hyposulfureux..... *ibid.*
Acide hyposulfurique..... 280
Acide hydrosulfureux..... 281
Chlorure de soufre..... 283
Sulfure de phosphore..... *ibid.*
Du sélénium..... 284
Chlorure de sélénium..... *ibid.*
De l'arsenic..... 285
Sulfure d'arsenic..... *ibid.*

COMBUSTIBLES SIMPLES SALIFIABLES.

Du potassium et du sodium..... 287
Mélange de chlorures de potassium et de sodium..... *ibid.*
Du lithion..... 289
Comment on l'obtient..... 290
Ses propriétés..... *ibid.*
Chlorure..... 292
Du fer..... 293
Séléniure..... *ibid.*
Oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau..... *ibid.*
Du cobalt..... 295
Séléniure..... *ibid.*
Du vodanium..... *ibid.*

Du manganèse. 296
Oxides. . . . . ibid.
Hydrate. 297
Acide manganésique. . . . . ibid.
Du zinc. 298
Séléniure. . . . . ibid.
Du cadmium. . . . . ibid.
Histoire. . . . . ibid.
Comme on l'obtient. 299
Propriétés. 300
Oxide. . . . . ibid.
Chlorure. 302
Iodure. 303
Sulfure. 304
Phosphure. . . . . ibid.
Du plomb. 305
Séléniure. . . . . ibid.
De l'étain. . . . . ibid.
Séléniure. . . . . ibid.
Du cuivre. . . . . ibid.
Séléniure. 306
Alliage avec le cadmium. . . . . ibid.
Du mercure. 307
Protoxide. . . . . ibid.
Séléniure. . . . . ibid.
Amalgame avec le cadmium. . . . . ibid.
Évaporation spontanée. 308
De l'argent. . . . . ibid.
Oxide nouveau. . . . . ibid.
Oxidation pendant sa fusion. 309
Chlorure. 311
Séléniure. 312
De l'or. 313
Faits pour servir à l'histoire de l'or. . . . . ibid.
Observations. 315
Du platine. . . . . ibid.
Séléniure. . . . . ibid.
Union avec le cadmium. 316
Union avec le silicium. . . . . ibid.
Cristallisation. 318
Du palladium. 319
Séléniure. . . . . ibid.

COMBUSTIBLES SIMPLES INTERMÉDIAIRES.

De l'antimoine. 320
Séléniure. . . . . ibid.
Union avec le platine. . . . . ibid.
Du chrôme. . . . . ibid.
Sulfure. . . . . ibid.
Alliages avec le fer et l'acier. 322

OXIDES NON SALIFIABLES.

De l'eau. 323
Eau oxigénée. ..... *ibid.*
Sa préparation. 324
Préparation du deutoxide de barium. 325
Précipitation de la baryte. 326
Décomposition de l'acide hydrochlorique. 328
Précipitation de l'acide sulfurique. 329
Condensation de la liqueur. ..... *ibid.*
Analyse de l'eau oxigénée. 330
Propriétés de l'eau oxigénée, de la densité de 1,452. 333
Application de l'eau oxigénée. 335
Nouvelle détermination des proportions de l'eau. ..... *ibid.*
Compressibilité de l'eau. 341

BASES SALIFIABLES.

De la morphine. 342
Préparation. 343
Procédé de M. Sertuerner. 344
Procédé de M. Robiquet. ..... *ibid.*
Procédé de M. Choulant. ..... *ibid.*
Ses propriétés. 346
Sa composition. 347
De la strychnine. 348
Sa préparation. 349
Ses propriétés. ..... *ibid.*
Son action sur les corps vivans. 351
De la brucine. 352
De la picrotoxine. 354
De la delphine. 356
De la soude. 357
Essai des soudes du commerce. ..... *ibid.*
De la chaux. 360
Chaux de construction, mortiers ordinaires. ..... *ibid.*
Élémens des cimens calcaires. ..... *ibid.*
Action du feu sur les pierres à chaux. 361
Combinaison de l'eau et de la chaux. ..... *ibid.*
Pouzzolanes. 362
Combinaison des élémens des cimens calcaires. 363
Chaux hydrauliques et pouzzolanes factices. 364
De la zircone. 366
De l'acide nitrique. 368
De l'acide borique. 369
Propriété nouvelle. 370
De l'acide phosphorique. 371
De l'acide hyposulfureux. 372
De l'acide hyposulfurique. 373
De l'acide sélénique. 374
De l'acide chromique. 376

E

600038040L

~~C 71.16~~

1933 e 367/5

Des sels d'Yttria. 462
Des sels de glucine..... 463
Des sels d'alumine. ..... ibid.
Des sels de fer..... 466
Des sels de nickel..... 468
Des sels de cobalt..... 469
Des sels de manganèse..... ibid.
Des sels de cérium. ..... ibid.
Des sels d'urane. 470
Des sels de zinc..... ibid.
Des sels de cadmium..... ibid.
Des sels de plomb..... 473
Des sels d'étain..... 475
Des sels de cuivre..... ibid.
Des sels de mercure..... 476
Des sels d'argent..... 478
Des sulfures hydrogénés..... 481
Sulfure hydrogéné de chaux..... ibid.
De la combinaison de gaz..... 482
Gaz nitreux et hydrogène sulfuré..... ibid.

SUBSTANCES VÉGÉTALES.

Ingrédiens des plantes..... 484
Du sucre..... ibid.
De l'amidon..... ibid.
De l'indigo..... 486
Du gluten..... 487
Du camphre..... 489
De l'oliville..... 490
Des résines..... 491
De la laque..... 494
Du gaïac..... 495
Du caoutchouc..... 499
Du ligneux..... 500
Parties des plantes..... 505
Des quinquinas..... ibid.
De l'anthémis pyréthrum..... 508
Du séné..... 509
Du chenopodium olidum..... 510
Du mesambryanthemum cristallinum..... 511
Des fleurs..... ibid.
Végétation..... 512
De la nutrition des plantes..... ibid.
Des semences..... 514
Des bulbes..... ibid.

SUBSTANCES ANIMALES.

De la gélatine..... 516
De l'urée ou néphrine..... 518

De la cocheniline..... 520
Des huiles..... 524
De la soie..... 525
De la laine..... 526
De la bile..... 527
De la liqueur de l'amnios..... 528
De l'urine..... 532
Des concrétions morbifiques..... 534
Post scriptum..... 535

TABLES.

Table 1re. Du poids de l'atome de tous les corps examinés jusqu'à ce jour, hydrogène = 1, oxigène = 1..... 536
Table IIme. Du poids des atomes par ordre alphabétique. 544
Table IIIme. Pesanteurs spécifiques des fluides élastiques, celle de l'air étant = 1..... 548

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

ERRATA.

M. Thomson a cité, dans sa précédente édition, parmi les expériences faites relativement à la production du calorique par le frottement, celles de M. Haldot. Ce nom, d'après la réclamation de celui qui le porte, est écrit d'une manière incorrecte; ainsi, dans la traduction française de cette édition, tome 1er, page 184, ligne 25, au lieu de *Haldot*, il conviendra de lire *Haldat*.

Même traduction.

Tome 2, page 622, ligne 28, au lieu de, *le carbonate de ce métal*, lisez : *l'oxide blanc de ce métal.*

Tome 3, page 241, ligne 5, au lieu de, 34° *au-dessous*, etc., lisez : 1°,94 *au-dessous, etc.*

Dans ce Supplément.

Page 237, ligne 5, au lieu de, *qu'on peut faire dévier l'aiguille aimantée en disposant au-dessus d'elle*, lisez : *le premier qu'un seul couple suffit pour faire dévier l'aiguille aimantée de plusieurs degrés. M. Babinet emploie pour cela un appareil extrêmement simple, c'est un fil de laiton, etc.*

Page 397, ligne 33, et page 398, ligne 1re au-dessous de la table, au lieu de, *le docteur Hure*, lisez : *le docteur Ure.*

SYSTÈME DE CHIMIE.

SUPPLÉMENT.

CORPS IMPONDÉRABLES.

DE LA LUMIÈRE.

M. A. Fresnel, ingénieur des ponts et chaussées, qui s'est beaucoup occupé depuis quelques années de recherches sur la lumière, a présenté sur ce sujet, à l'Académie des sciences de l'Institut, différens mémoires, dans lesquels on trouve exposé ce qui suit : [1]

Les physiciens sont depuis long-temps partagés sur la nature de la lumière. Les uns supposent qu'elle est lancée par les corps lumineux, et les autres qu'elle résulte des vibrations d'un fluide élastique infiniment subtil répandu dans l'espace, comme le son des vibrations de l'air. Le système des ondulations, qui est dû au génie de Descartes, et que Huyghens a plus habilement suivi dans ses conséquences, a été aussi adopté par Euler, et dans ces derniers temps par le célèbre docteur Thomas Young, auquel l'optique doit beaucoup de dé- Nature de la lumière.

[1] Il ne pouvait mieux appartenir qu'à l'auteur de ces savans Mémoires sur la lumière d'en faire un extrait, où rien de ce qu'il peut être essentiel et utile de dire ne fût omis. M. Fresnel a bien voulu, pour les progrès de nos connaissances dans cette partie importante de la physique, et qui a des rapports si intimes avec la chimie, consentir à s'en charger. C'est cet extrait, rédigé par lui-même, qu'on donne ici. R.

couvertes importantes. Le système de l'émission, ou celui de Newton, soutenu par le grand nom de son auteur, et je dirais presque par cette réputation d'infaillibilité que son immortel ouvrage des Principes lui avait acquise, a été plus généralement adopté. L'autre hypothèse paraissait même entièrement abandonnée, lorsque M. Young l'a rappelée à l'attention des physiciens par des expériences curieuses qui en présentent une confirmation frappante, et semblent en même temps bien difficiles à concilier avec le système de l'émission.

Les phénomènes nouveaux, comparés aux faits antérieurement connus, augmentent tous les jours les probabilités en faveur du système des ondulations. Quoique négligé long-temps, et plus difficile à suivre dans ses conséquences mécaniques que l'hypothèse de l'émission, il fournit déjà des moyens de calcul beaucoup plus étendus. C'est un des caractères les moins équivoques de la réalité d'une théorie. Quand une hypothèse est vraie, elle doit conduire à la découverte des rapports numériques qui lient entre eux les faits les plus éloignés; lorsqu'elle est fausse au contraire, elle peut représenter à la rigueur les phénomènes pour lesquels elle a été imaginée, comme une formule empirique représente les mesures entre les limites desquelles elle a été calculée; mais elle ne saurait dévoiler les nœuds secrets qui unissent ces phénomènes à ceux d'une autre classe.

Ainsi, par exemple, M. Biot en cherchant avec autant de sagacité que de persévérance, les lois des beaux phénomènes de coloration que M. Arago avait découverts dans les lames cristallisées, reconnut que les teintes qu'elles présentaient suivaient à l'égard de leurs épaisseurs des lois analogues à celles des anneaux colorés, c'est-à-dire que les épaisseurs de deux lames cristallisées de même nature qui donnaient deux teintes quelconques, étaient dans le même rapport que les épaisseurs des lames d'air qui réfléchissaient des teintes semblables dans les anneaux colorés. Cette relation indiquée par l'analogie, indépendamment de toute idée théorique, était déjà sans doute très-remarquable et très-importante; mais M. Young a été plus loin à l'aide du principe des interfé-

rences, qui est une conséquence immédiate du système des ondulations. Il a découvert une relation bien plus intime encore entre ces deux classes de phénomènes; c'est que la différence de marche entre les rayons qui ont été réfractés ordinairement dans une lame cristallisée et ceux qui ont éprouvé la réfraction extraordinaire est précisément égale à la différence des chemins parcourus par les rayons réfléchis, à la première et à la seconde surface de la lame d'air qui donne la même teinte que la lame cristallisée : ce n'est plus ici un simple rapport, mais une identité.

Je pourrais ajouter encore que les lois si compliquées, en apparence, des phénomènes de la diffraction, que l'on avait vainement essayé de deviner avec les secours réunis de l'expérience et du système de l'émission, ont été indiquées dans toute leur généralité par les principes les plus simples de la théorie des ondulations. Sans doute l'observation a concouru aussi à cette découverte; mais seule elle ne l'aurait pas faite; tandis que sur ce sujet, comme sur plusieurs autres, la théorie des ondulations pouvait à la rigueur devancer l'expérience, et annoncer d'avance les faits avec toutes leurs particularités.

Les résultats que nous venons de citer, prouvent suffisamment que le choix d'une théorie n'est point indifférent. Son utilité ne se borne pas à faciliter l'étude des faits en les réunissant par groupes plus ou moins nombreux, d'après leurs rapports les plus frappans. Un autre but non moins important d'une bonne théorie, doit être de contribuer à l'avancement de la science, à la découverte des faits et des rapports entre les classes de phénomènes les plus distinctes et en apparence les plus indépendantes les unes des autres. Or il est clair qu'en partant d'une hypothèse imaginaire sur la cause de la lumière, on n'atteindra pas aussi promptement le but que si l'on était à cet égard dans le secret de la nature. La théorie, dont l'hypothèse fondamentale est vraie, quelque rebelle qu'elle soit d'ailleurs à l'analyse mathématique, indiquera même entre les faits les plus éloignés des relations intimes qui seraient toujours restées inconnues dans l'autre système. Ainsi, sans

parler du désir si naturel qu'on doit avoir dans tous les cas de connaître la vérité, on voit combien il est intéressant pour les progrès de l'optique et de tout ce qui s'y rattache, c'est-à-dire la physique et la chimie entières, de savoir si les molécules lumineuses sont lancées des corps qui nous éclairent jusqu'à nos yeux, ou si la lumière est propagée par les vibrations d'un fluide intermédiaire auquel les particules de ces corps communiquent leurs oscillations. Et qu'on ne suppose pas que c'est une de ces questions à la solution desquelles il est impossible d'arriver; parce qu'elle a paru long-temps indécise, il ne faut pas en conclure qu'elle ne peut être décidée. Nous pensons même qu'elle l'est déjà, et qu'après avoir comparé attentivement les deux systèmes et les explications qu'ils donnent des phénomènes connus jusqu'à présent, on ne saurait méconnaître la supériorité de la théorie des ondulations.

En nous proposant spécialement l'exposition des faits, nous ne nous interdirons donc point les vues théoriques qui ont si puissamment contribué à la découverte de leurs lois. Nous croyons qu'il sera également utile à l'enseignement et à l'avancement de la science de faire connaître les principes les plus essentiels et les plus féconds d'une théorie dont les avantages ont été trop long-temps méconnus. Les bornes de ce supplément, et l'objet principal de l'ouvrage qu'il doit compléter, ne nous permettront pas d'entrer dans les détails des calculs; mais après avoir expliqué pour chaque question physique comment elle devient un problème mathématique, nous ferons connaître les principaux résultats de l'analyse.

Nous nous occuperons d'abord de la diffraction de la lumière, qu'on doit naturellement placer au commencement d'un traité d'optique, puisqu'elle a pour objet le cas le plus simple des ombres portées par les corps opaques, celui où l'objet éclairant est réduit à un point lumineux; et nous donnerons à l'exposition de ces phénomènes l'étendue qu'ils nous paraissent mériter, comme les plus propres à décider la grande question dont nous venons de parler.

Diffraction de la lumière.

On appelle *diffraction* de la lumière, les modifications

qu'elle éprouve en passant auprès des extrémités des corps.

Lorsque l'on fait entrer les rayons solaires dans une chambre obscure par une ouverture d'un très-petit diamètre, on remarque que les ombres des corps, au lieu d'être terminées nettement et d'une manière tranchée, comme cela devrait arriver si la lumière marchait toujours en ligne droite, sont fondues sur leurs contours et bordées de trois franges colorées bien distinctes, dont les largeurs sont inégales et vont en diminuant de la première à la troisième; quand le corps interposé est assez étroit, on voit même des franges dans son ombre, qui paraît alors divisée par des bandes obscures et des bandes plus claires, placées à des distances égales les unes des autres. Nous appellerons cette seconde espèce de franges, *franges intérieures*, et les autres *franges extérieures*.

Grimaldi est le premier physicien qui les ait observées et étudiées avec soin. Newton, qui s'est occupé aussi de la diffraction, et a même consacré à ce sujet le dernier livre de son optique, ne paraît pas avoir remarqué les franges intérieures, quoique ses recherches fussent postérieures à celles de Grimaldi; car il dit dans la 28e question du livre 3e de son Optique, en objectant au système des ondulations que les ondes lumineuses devraient se répandre dans l'ombre des corps : « Il est » vrai que les rayons, passant le long d'un corps, s'in- » fléchissent un peu, comme je l'ai fait voir plus haut : » mais *cette inflexion ne se fait pas vers l'ombre*, » elle se fait du côté opposé et seulement lorsque les » rayons passent à une très-petite distance du corps, » après quoi ils se propagent en ligne droite. » On a peine à concevoir comment l'inflexion de la lumière dans l'intérieur des ombres, a pu échapper à un aussi habile observateur, surtout quand on réfléchit qu'il avait fait des expériences sur les corps les plus étroits, puisqu'il a même employé des cheveux. On serait tenté de croire que ses préventions théoriques ont pu contribuer, jusqu'à un certain point, à lui fermer les yeux sur ces phénomènes importans, qui affaiblissaient beaucoup l'objection principale sur laquelle il fondait la supériorité de son système.

Comme cette inflexion de la lumière dans l'intérieur des ombres est un fait capital, nous croyons devoir insister sur les détails de l'expérience qui l'établit. Pour la faire d'une manière qui ne vous laisse aucun doute à cet égard, introduisez la lumière solaire dans une chambre obscure par une ouverture pratiquée à son volet, et que vous aurez recouverte d'une feuille d'étain percée d'un petit trou d'épingle, d'un dixième de millimètre au plus; au lieu de laisser tomber directement les rayons solaires sur l'ouverture, ce qui ne permettrait pas de les suivre loin dans la chambre obscure à cause de leur obliquité, recevez-les sur un miroir situé en dehors, et incliné de manière à les réfléchir dans une direction à peu près horizontale. Placez maintenant dans le cone lumineux, formé par les rayons solaires ainsi introduits, un fil de fer ou d'acier ou de toute autre matière parfaitement opaque, ayant, par exemple, un millimètre de diamètre. Je supposerai, pour fixer les idées, qu'il est à un mètre du petit trou et que la carton blanc sur lequel vous recevez son ombre est placé à deux mètres plus loin, c'est-à-dire à trois mètres du volet. Si le petit trou était infiniment étroit, si le point lumineux était un point mathématique, il est clair que l'ombre géométrique tracée sur le carton devrait avoir 3 millimètres de largeur; j'appelle ainsi l'ombre dont les limites seraient tracées par des rayons qui n'auraient éprouvé aucune inflexion.

Calculons maintenant de combien la largeur de l'ombre géométrique *absolue* doit être diminuée par les dimensions du trou éclairant. Puisqu'il a, par hypothèse, un dixième de millimètre de diamètre, les rayons extrêmes partiront de points éloignés du centre d'un vingtième de millimètre, et puisque le carton est deux fois plus éloigné du fil de fer que celui-ci du point lumineux, la pénombre géométrique devra avoir un dixième de millimètre en largeur. Ainsi l'ombre géométrique absolue ne sera diminuée de chaque côté que d'un dixième de millimètre, et réduite en conséquence à une largeur de $2^m,8$. Si donc les rayons n'éprouvaient aucune inflexion en dedans de l'ombre, cet espace devrait être dans une obscurité complète. Or, en l'observant at-

tentivement, vous y découvrirez des bandes légèrement éclairées, que font ressortir les lignes obscures qui les séparent, et vous remarquerez que le centre même de l'ombre est occupé par une bande brillante.[1] Il résulte donc de cette expérience, si facile à vérifier, que la lumière s'infléchit dans les ombres des corps, comme Grimaldi l'avait remarqué. A la vérité elle s'affaiblit très-promptement, à mesure que l'angle d'inflexion augmente; mais ce décroissement rapide n'a rien de contraire à la théorie des vibrations, qui l'explique aisément par la petitesse des ondes lumineuses, et fait même connaître la loi suivant laquelle il a lieu. Ainsi Newton s'est trompé en supposant qu'il ne se répandait point de lumière derrière les corps opaques, et l'objection qu'il en tirait contre la théorie des ondulations, reposait sur une hypothèse inexacte.

Puisque nous venons de parler des franges intérieures, c'est ici le lieu de décrire l'expérience ingénieuse que M. Young a faite sur ce sujet, et la conséquence importante qu'il en a déduite.

Ayant intercepté avec un écran toute la lumière qui venait d'un des côtés du corps étroit, il remarqua que les franges situées dans l'intérieur de son ombre, disparaissaient complétement, quoiqu'il n'eût soustrait ainsi que la moitié des rayons infléchis. Il en conclut que le concours des deux faisceaux lumineux était nécessaire à leur formation, et qu'elles résultaient de l'action qu'ils exerçaient l'un sur l'autre; car chacun de ces deux faisceaux, pris séparément, ne répandant dans l'ombre qu'une lumière continue, leur réunion devrait également produire une lumière continue, s'ils ne faisaient que se mêler, et n'exerçaient pas une certaine influence l'un sur l'autre.

En supposant, comme il est naturel de le faire dans le système de l'émission, que les inflexions diverses des rayons lumineux près des corps, proviennent d'une certaine action attractive ou répulsive de ceux-ci sur les molécules lumineuses, on pouvait penser que, dans

[1] Je donnerai dorénavant le nom de *bande brillante* à toute bande comprise entre deux bandes contiguës plus obscures, quelle que soit d'ailleurs la faiblesse de sa lumière.

cette expérience, l'action du bord libre du corps étroit était modifiée par l'écran qui touchait l'autre bord, de telle façon qu'elle perdait la propriété de produire des franges intérieures. Cette objection devait paraître déjà bien faible quand on remarquait que les franges extérieures produites par le bord libre du corps étroit, n'étaient point altérées par le voisinage de l'écran; mais M. Young la leva d'ailleurs complétement en éloignant assez l'écran du corps étroit pour que l'on ne pût supposer raisonnablement qu'il apportait quelque modification dans les forces attractives ou répulsives de celui-ci, et en interceptant l'un des deux faisceaux lumineux, tantôt avant qu'il eût rasé le bord du corps, et tantôt après, ce qui faisait toujours disparaître les franges intérieures.

Il démontra encore l'influence mutuelle des rayons lumineux, en faisant passer la lumière par deux petits trous suffisamment rapprochés; il observa dans l'ombre de la partie intermédiaire, des lignes obscures et brillantes résultant évidemment de l'action de ces deux faisceaux l'un sur l'autre, puisqu'elles disparaissaient dès qu'un des trous était bouché.

Les franges sont plus nettes, lorsqu'au lieu de percer deux petits trous dans l'écran, on y pratique deux fentes parallèles, et distantes d'un ou deux millimètres; alors on fait également disparaître les franges intérieures en bouchant une des fentes, quoique la lumière répandue dans l'ombre de la partie intermédiaire par l'autre fente soit encore très-sensible. Il arrive souvent, quand les fentes ne sont pas trop étroites, ou qu'on reçoit l'ombre assez près de l'écran, qu'on voit encore des franges après qu'un des deux faisceaux lumineux a été intercepté; mais ce ne sont pas celles dont nous voulons parler, et dont elles sont faciles à distinguer, tant que les fentes sont beaucoup plus étroites que l'intervalle qui les sépare; car alors les franges qui résultent du concours des deux faisceaux lumineux, et qu'on fait disparaître par la soustraction de l'un d'eux, sont bien plus fines que les autres. Celles-ci, beaucoup plus larges, sont produites par chaque fente séparément; et l'on peut remarquer que c'est vers le milieu de l'espace où ces deux groupes de larges franges se mêlent, que les autres prennent naissance.

Nous avons toujours supposé que toute la lumière employée dans ces expériences provenait d'un même point lumineux; s'il en était autrement, si les deux faisceaux lumineux que l'on mêle n'émanaient pas d'une même source, les effets dont nous venons de parler n'auraient plus lieu : nous en ferons bientôt sentir la raison à l'aide de la théorie des ondulations. Bornons-nous pour le moment à étudier les faits qui démontrent avec le plus d'évidence que, dans certains cas, les rayons de lumière exercent une influence sensible les uns sur les autres.

Pour compléter ce que nous venons de dire à cet égard, il nous reste à parler d'une autre expérience qui présente cette influence avec une grande netteté, et a l'avantage de la séparer des phénomènes de diffraction proprement dits. Elle consiste à faire réfléchir sur deux miroirs légèrement inclinés entre eux, des rayons provenant d'un même point lumineux. Mais avant d'expliquer en détail les précautions à prendre pour assurer le succès de cette expérience, il est nécessaire d'indiquer les perfectionnemens qu'on peut apporter dans les moyens d'observation.

Au lieu de former le point lumineux avec un trou d'épingle pratiqué dans la feuille d'étain ou de carton qui ferme l'ouverture du volet de la chambre obscure, il est beaucoup plus commode d'y enchâsser une lentille de verre, d'un très-court foyer, sur laquelle on dirige aussi les rayons solaires réfléchis horizontalement par le miroir placé en dehors de la chambre. On sait que l'effet d'une lentille est de réunir sensiblement en un seul point, qu'on appelle foyer, tous les rayons parallèles qui sont tombés sur sa surface; et que ce foyer, situé sur le rayon qui passe par le milieu de la lentille, est d'autant plus rapproché de sa surface, qu'elle est plus convexe. Je supposerai, pour fixer les idées, que cette distance du foyer soit d'un centimètre ou 10 millimètres. Si le soleil ne présentait à nos yeux, comme les étoiles fixes, aucune étendue angulaire, tous ses rayons, après avoir été réfractés par la lentille, se réuniraient sensiblement en un seul point; mais le soleil embrasse un angle de 35′ environ, c'est-à-dire que les rayons qui nous viennent de deux points de sa circonférence diamétralement opposés, font entre eux un angle de 35′. Or, pour déterminer les ima-

ges de ces deux points au foyer de la lentille, il faut choisir ceux des rayons qu'ils envoient qui passent par le centre de la lentille, et ces images se trouveront placées sur les prolongemens des deux rayons, à 10 millimètres de la lentille, d'après l'hypothèse que nous avons faite sur la distance du foyer. Ainsi l'intervalle qui les sépare sera égal à la corde d'un petit arc de 35', décrit avec un rayon de 10 millimètres de longueur; ce qui donne, par le calcul, 52 millièmes de millimètre, ou un vingtième de millimètre environ.

Tel sera donc le diamètre de la petite image du soleil, formée au foyer de la lentille par les rayons dirigés sur sa surface,[1] et qui, après s'être croisés en ce point, divergeront en un cône lumineux, beaucoup plus étendu que celui qui résulte de l'introduction des rayons solaires par un petit trou, surtout si la lentille a un peu de largeur. Cette grande étendue du cône lumineux est précisément ce qui rend ce procédé plus commode. Il m'avait été indiqué par M. Arago, et je l'ai toujours employé depuis dans mes expériences.

Quand on a besoin d'une grande fixité du point lumineux, comme dans le cas où l'on veut déterminer par des mesures les positions relatives des franges, il est nécessaire d'employer, au lieu d'un simple miroir, un héliostat, instrument ainsi nommé, parce qu'il maintient les rayons réfléchis dans une direction constante, malgré le mouvement diurne du soleil. On conçoit en effet que, sans cette précaution, les rayons réfléchis, changeant de direction avec les rayons incidens, feraient éprouver un petit déplacement au point lumineux qu'ils forment par leur concours. Mais cette immobilité parfaite du point lumineux n'est nécessaire, comme nous venons de le dire, que dans le cas où l'on veut mesurer les franges; encore pourrait-on même, à la rigueur, se passer d'héliostat, en ne prenant pas trop de mesures à la fois, de manière que

[1] Il faut avoir soin de ne laisser tomber sur la lentille que les rayons réfléchis par le miroir, et d'intercepter les rayons directs au moyen d'un écran; car sans cela ils formeraient un second point lumineux qui pourrait compliquer les effets produits par le premier, si la lentille avait assez d'étendue.

chaque opération durât peu, et en employant une lentille d'un très-court foyer.

Après avoir indiqué la meilleure manière de former un point lumineux, je vais exposer le procédé le plus commode pour observer les franges, en suivant, dans cette exposition, la marche qui me l'a fait découvrir.

Voulant observer les franges extérieures très-près du corps opaque, j'imaginai de recevoir son ombre sur une plaque de verre dépoli, et de les regarder par derrière avec une loupe. Or, en promenant mon œil, armé de la loupe, dans le prolongement des franges, au delà du verre dépoli, je remarquai que je les voyais encore, et même beaucoup plus nettement, et qu'elles étaient du reste absolument semblables à celles qui se peignaient sur la glace dépolie. J'en conclus que son interposition était inutile, et qu'il suffisait de recevoir la lumière directement sur la loupe, en se plaçant derrière le corps qui porte ombre, et regardant le point lumineux.[1] La raison en est bien simple; l'effet d'un verre convexe est de peindre au fond de l'œil ce qui est à son foyer, que ce soit un objet réel, ou une image formée par un arrangement quelconque de rayons lumineux, pourvu que ces rayons parviennent, sans altération, à la surface du verre convexe. C'est ainsi que l'oculaire d'un télescope nous fait voir l'image aérienne des objets peinte au foyer de l'objectif, image qu'on aperçoit également, mais d'une manière bien moins distincte, en la recevant sur un carton blanc ou un verre dépoli. Le simple raisonnement pouvait donc indiquer ce mode d'observation, très-préférable à celui

---

[1] Pour bien voir les franges il faut avoir soin de faire tomber le foyer des rayons réunis par la loupe au milieu de la prunelle, en la plaçant à une distance de l'œil telle que toute sa surface paraisse illuminée, quand elle n'est pas dans l'ombre du corps opaque; ensuite, en conservant les mêmes positions relatives de l'œil et de la loupe, on les porte vers l'ombre dont on veut observer les franges.

Lorsque la loupe n'est éloignée du corps que d'une distance précisément égale à celle de son foyer, alors les bords du corps étant au foyer même, c'est-à-dire dans la position propre à la vision distincte, sont tranchés et débarrassés de franges; mais elles paraissent aussitôt qu'on s'en éloigne un peu. Elles reparaissent aussi quand on s'en rapproche assez pour dépasser la distance focale. La raison en est facile à donner, mais nous entraînerait dans des détails un peu trop longs.

que l'on avait suivi jusqu'alors, parce qu'il a l'avantage de grossir les franges et d'augmenter en même temps leur éclat; ce qui permet de les distinguer dans une foule de circonstances où on ne le pourrait pas en les recevant sur un carton blanc, à cause de leur finesse ou de la faiblesse de la lumière.

Pour donner une idée de la supériorité de cette méthode, il suffit de dire qu'elle fait découvrir aisément les franges formées dans la lumière d'une étoile un peu brillante, par l'interposition d'un corps opaque, et qu'elle fait même apercevoir des bandes obscures et brillantes dans l'intérieur de son ombre, s'il est assez étroit et assez éloigné du spectateur; tandis qu'il serait impossible aux meilleurs yeux de distinguer l'ombre même de ce corps, projettée sur un carton blanc. Pour apercevoir des franges dans la lumière d'une étoile, il est nécessaire d'employer une loupe d'un foyer un peu long, telle que les verres de lunettes ordinaires, d'un ou deux pieds de foyer par exemple, parce que, si le verre était plus convexe, la lumière serait trop affaiblie : il en résulte que le grossissement n'est pas aussi grand, et qu'on ne peut pas, dans ce cas, observer des franges aussi fines que si la lumière était plus vive : en général, plus elle est faible, plus il faut diminuer le grossissement. Si l'on veut réussir dans cette expérience, que tout le monde peut répéter facilement, il faut avoir soin, comme nous l'avons déjà recommandé, de faire tomber le foyer lumineux du verre convexe au milieu de la pupille, en le tenant à une distance telle, que toute sa surface paraisse illuminée, et de chercher alors dans cette position relative de l'œil et de la loupe, l'ombre du corps opaque dont on veut observer les franges.

J'ai cru devoir m'étendre un peu sur ce mode d'observation, à cause de la facilité qu'il donne d'étudier tous les phénomènes de diffraction, et de les mesurer avec précision. Car on conçoit que pour mesurer la largeur des franges, c'est-à-dire les distances entre les milieux des bandes obscures ou brillantes, il suffit d'employer une petite loupe mobile, portant à son foyer un fil très-fin, qui serve de point de mire, et dont on puisse évaluer les déplacemens, à l'aide d'un vernier ou d'une vis micro-

métrique : cet appareil constitue alors ce qu'on appelle un micromètre. Celui que j'ai employé dans toutes mes expériences, et qui a été exécuté par M. Fortin, porte une plaque de cuivre, qui glisse à frottement doux entre deux rainures fixes : cette pièce est percée, dans son milieu, d'un trou d'un centimètre de largeur, sur les bords duquel est fixé d'un côté le fil de soie écrue qui doit servir de point de mire, et de l'autre un petit tuyau qui porte la loupe, qu'on peut rapprocher ou éloigner du fil jusqu'à ce qu'il se trouve à son foyer. La plaque sur laquelle tout ce système est fixé est menée par une vis micrométrique travaillée avec une grande perfection. La largeur des pas est exactement connue, et l'on estime leurs subdivisions à l'aide d'un cadran divisé en cent parties que parcourt une aiguille attachée à la vis. On peut évaluer de cette manière à un centième de millimètre près le déplacement qu'éprouvent la lentille et le fil, quand on fait tourner la vis. Cela posé, il est aisé de concevoir la manière dont on mesure l'intervalle entre les milieux de deux bandes obscures, par exemple ; on amène successivement le fil sur le milieu de la première et sur celui de la seconde, en tenant note chaque fois de la division du cadran à laquelle répond l'aiguille, et comptant le nombre des tours, qui se trouve d'ailleurs indiqué par un vernier divisé en parties égales à la largeur d'un pas de la vis. Cette largeur étant connue, il est facile de calculer le déplacement du fil ou l'intervalle compris entre les milieux des deux bandes obscures.

Avant de décrire les premiers phénomènes de diffraction, j'aurais pu indiquer d'abord la manière de les observer avec une loupe ; mais j'ai craint de laisser quelques doutes sur les résultats importans qu'ils présentent, en faisant dépendre en quelque sorte leur démonstration expérimentale du plus ou moins de confiance qu'on pouvait avoir au premier abord dans le nouveau mode d'observation ; c'est pourquoi j'ai décrit ces expériences telles que Grimaldi et M. Young les ont faites, en recevant les franges sur un carton blanc. Ce n'est pas qu'il ne soit facile de se convaincre par le raisonnement que l'emploi de la loupe ne change rien aux phénomènes ; et il suffit même pour s'en assurer par le fait de comparer les

franges peintes sur un carton à celles qu'on voit au travers d'une loupe, dont le foyer est à la même distance du corps opaque; on reconnaîtra qu'elles se ressemblent parfaitement, à la différence près du grossissement apparent et de l'éclat que leur donne la loupe; et si on les mesure, on leur trouvera la même largeur. Mais il était utile de démontrer *a priori* et d'une manière incontestable l'immersion de la lumière dans les ombres et l'influence mutuelle des rayons lumineux; et j'ai cru devoir n'exposer le nouveau moyen d'observation que lorsqu'il devenait nécessaire pour les nouvelles expériences dont j'avais à parler.

Nous pouvons maintenant expliquer celle des deux miroirs, dans laquelle on obtient des effets très-frappans de l'influence mutuelle des rayons lumineux par la réunion des deux faisceaux réfléchis régulièrement sur leur surface. Il ne faut point employer de glaces étamées, mais noircies par derrière, afin de détruire la seconde réflexion qui compliquerait le phénomène; des miroirs métalliques sont encore préférables. Après avoir placé les deux miroirs l'un à côté de l'autre, et de sorte que leurs bords se touchent parfaitement, on les fait tourner jusqu'à ce qu'ils se trouvent presque dans le même plan, et forment néanmoins entre eux un angle légèrement rentrant, de manière à présenter à la fois deux images du point lumineux. On peut juger de cet angle d'après l'intervalle qui sépare les images; il faut que cet intervalle soit petit pour que les franges aient une largeur suffisante. Mais une chose à laquelle on doit apporter le plus grand soin, c'est que les miroirs ne saillent pas l'un sur l'autre dans la ligne de contact; car une saillie d'un ou deux centièmes de millimètre suffirait souvent pour empêcher l'apparition des franges. On parvient à remplir cette condition par le tâtonnement, en pressant peu à peu celui des deux miroirs que l'on croit le plus saillant contre la cire molle au moyen de laquelle on les a fixés sur un appui commun; et l'on juge au tact, et mieux encore en cherchant les franges à l'aide de la loupe, si la condition est remplie. On pourrait sans doute imaginer un mécanisme au moyen duquel on ferait varier à volonté l'angle des deux miroirs, en évitant toute saillie de l'un sur l'autre;

mais il faudrait qu'il fût construit avec un grand soin. Si le procédé que je viens d'indiquer est plus long par les tâtonnemens qu'il nécessite, il a du moins l'avantage de n'exiger d'autre appareil que deux petits miroirs de métal ou de verre noir, et d'être ainsi à la portée de tout le monde.

On ne doit employer dans cette expérience, comme dans celles de diffraction, que la lumière d'un seul point lumineux; et pour que les franges soient bien nettes, il faut qu'il soit d'autant plus fin ou plus éloigné qu'elles sont plus étroites. Peu importe d'ailleurs sous quelle inclinaison le système des miroirs accouplés se présente aux rayons incidens. Pour découvrir les franges, il faut s'éloigner un peu des miroirs, et recevoir directement les rayons qu'ils réfléchissent sur une loupe d'un court foyer, derrière laquelle on tient son œil placé de manière que toute sa surface paraisse illuminée. Alors on cherche les franges dans l'espace où se réunissent les rayons réfléchis sur les deux miroirs, qu'il est facile de distinguer du reste du champ lumineux à la supériorité de son éclat.

Ces franges présentent une série de bandes brillantes et obscures, parallèles entre elles, et à égales distances les unes des autres. Dans la lumière blanche, elles sont parées des plus vives couleurs,[1] surtout celles qui avoisinent le centre; car, à mesure qu'elles s'en éloignent, elles s'affaiblissent graduellement, et disparaissent enfin vers le huitième ordre. Dans une lumière plus homogène, telle que celle qu'on peut obtenir au moyen d'un prisme ou de certains verres colorés en rouge, on aperçoit un bien plus grand nombre de franges, qui ne présentent plus alors qu'une suite de bandes obscures et brillantes, de même couleur. En employant une lumière aussi homogène que possible, on réduit le phénomène à son plus grand degré de simplicité. C'est dans ce cas que nous allons d'abord l'étudier particulièrement. Il nous sera facile ensuite de nous rendre compte des apparences qu'il présente avec la lumière blanche, par la superposition

[1] Pour bien distinguer ces couleurs, il faut avoir soin de rendre les franges suffisamment larges en rapprochant beaucoup l'une de l'autre les deux images du point lumineux.

des bandes brillantes et obscures de chaque espèce de rayons colorés dont elle se compose.

La direction de ces bandes est toujours perpendiculaire à la ligne droite qui joindrait les deux images du point lumineux, du moins dans l'espace éclairé par la lumière régulièrement réfléchie, quelle que soit la direction de cette ligne, relativement aux bords des miroirs en contact; ce qui prouve bien qu'elles ne proviennent pas d'une influence exercée par ces bords sur les rayons lumineux qui passent dans leur voisinage. On peut d'ailleurs, en augmentant l'angle des miroirs, écarter assez l'une de l'autre les deux images du point lumineux, pour que les rayons qui concourent à la production des franges soient réfléchis à des distances telles des bords en contact, qu'on ne puisse plus raisonnablement supposer aucune action sensible de leur part.

La bande centrale est brillante, comme dans les franges qui divisent l'ombre d'un corps étroit, ou celles qu'on obtient au moyen d'un écran percé de deux fentes parallèles, très-fines et suffisamment rapprochées. Cette bande brillante est placée entre deux bandes obscures du noir le plus foncé, quand on emploie, comme nous le supposons, une lumière sensiblement homogène; chacune d'elles est suivie d'une bande brillante, à laquelle succède de nouveau une bande obscure, et ainsi de suite. Les bandes obscures sont encore d'un noir très-foncé, dans les franges du deuxième et du troisième ordre; mais à mesure qu'on s'éloigne du centre, elles deviennent moins prononcées, ce qui tient à ce que la lumière employée n'est jamais parfaitement homogène.

Il suffit de comparer les bandes obscures des premier, deuxième et troisième ordres à la lumière donnée par un seul miroir, pour se convaincre qu'elles sont beaucoup moins éclairées, et que, dans les positions qu'elles occupent, l'addition des rayons d'un des miroirs à ceux de l'autre, au lieu de former une lumière plus intense, *produit de l'obscurité*. Il est aisé de faire cette comparaison, en regardant successivement les bandes noires et les parties du champ lumineux situées à droite et à gauche de la partie doublement éclairée où se trouvent les franges. Si l'on craignait que l'opposition des bandes brillantes

qui avoisinent les bandes obscures, n'occasionât quelque illusion à cet égard, il suffirait de placer successivement le fil du micromètre au milieu d'une des bandes obscures les plus noires, et dans la portion du champ lumineux qui n'est éclairée que par un seul miroir; car on le distinguera beaucoup plus aisément dans cette seconde position que lorsqu'il répondra au milieu des bandes noires du premier ou second ordre, surtout si la chambre obscure est bien fermée, et si l'on a pris toutes les précautions nécessaires pour qu'il ne reçoive de lumière que des deux miroirs.

Il est donc parfaitement prouvé que, dans certains cas, de la lumière ajoutée à de la lumière produit de l'obscurité. Ce fait capital, qui n'a pas échappé à Grimaldi, et que cependant Newton paraît avoir ignoré, avait été suffisamment démontré dans ces derniers temps par les expériences de M. Young; mais celle que je viens de décrire le met peut-être encore mieux en évidence, parce que les bandes obscures qu'elle présente sont en général plus noires que celles des phénomènes de diffraction proprement dite, et qu'elle éloigne toute idée d'une action *diffractive*, qui dilaterait les faisceaux lumineux dans certains points, pour les condenser sur d'autres, puisque le phénomène est ici produit par des rayons régulièrement réfléchis.

Il est aisé de reconnaître ici, comme dans les expériences de M. Young, que les franges résultent de l'action mutuelle des rayons qui se rencontrent; car si l'on intercepte avec un écran placé près l'un des miroirs tous les rayons qu'il envoie, soit avant, soit après leur réflexion, ces franges disparaissent entièrement, quoique l'espace qu'elles occupaient continue à être éclairé par l'autre miroir, et l'on n'aperçoit plus que les franges pâles et inégalement espacées qui bordent l'ombre de l'écran. Si l'on ne couvre avec l'écran qu'une moitié du miroir, de manière à ne faire disparaître les franges que sur la moitié de leur longueur, on pourra comparer commodément la partie restante des bandes obscures les plus noires, avec l'espace voisin, où la lumière d'un des miroirs est interceptée par l'écran, et s'assurer encore de cette manière qu'il est beaucoup plus éclairé que le mi-

lieu de chacune d'elles, où arrivent à la fois cependant les rayons réfléchis par les deux miroirs. Ces rayons s'y neutralisent donc mutuellement en vertu d'une certaine action qu'ils exercent les uns sur les autres.

Cette influence mutuelle des rayons lumineux, que nous venons d'établir par plusieurs expériences, est confirmée encore par un grand nombre de phénomènes d'optique; en sorte que c'est maintenant un des principes de physique les mieux démontrés. Nous avons choisi d'abord les faits qui le mettaient hors de doute; nous reviendrons ensuite sur ceux qui en présentent les confirmations les plus importantes. Mais auparavant il nous faut étudier la loi suivant laquelle s'exerce cette propriété remarquable de la lumière.

Si l'on calcule les différences des chemins parcourus par les rayons qui concourent à la production de chacune des bandes obscures et brillantes, on trouve d'abord que le milieu de la bande brillante qui occupe le centre, répond à des chemins égaux, et qu'en appelant d la différence des chemins parcourus par les rayons des faisceaux qui se réunissent au milieu de la bande brillante suivante soit à droite, soit à gauche, les milieux des autres bandes brillantes répondent à des différences de chemins parcourus égales à $2\,d$, $3\,d$, $4\,d$, $5\,d$, $6\,d$, etc., tandis que les milieux des bandes obscures, depuis celles qui accompagnent la bande brillante centrale, jusqu'aux plus éloignées, répondent successivement à des différences de chemins parcourus, égales à $\frac{1}{2}\,d$, $\frac{3}{2}\,d$, $\frac{5}{2}\,d$, $\frac{7}{2}\,d$, etc.

Il résulte donc de là que la réunion des rayons produit le maximum de lumière, lorsque la différence des chemins qu'ils ont parcourus est égale à 0, d, $2\,d$, $3\,d$, $4\,d$, $5\,d$, etc.; et qu'au contraire, ils se neutralisent mutuellement, et produisent de l'obscurité, quand cette différence est égale à $\frac{1}{2}\,d$, $\frac{3}{2}\,d$, $\frac{5}{2}\,d$, $\frac{7}{2}\,d$, $\frac{9}{2}\,d$, $\frac{11}{2}\,d$, etc. Telle est la loi générale des influences périodiques que les rayons lumineux exercent les uns sur les autres.

Lorsque les deux faisceaux lumineux ont la même intensité, comme dans l'expérience que je viens de décrire, le milieu des bandes obscures présente une absence totale de lumière, du moins pour les franges du premier, du second, et même du troisième ordre, si la lumière

qu'on emploie est suffisamment homogène; mais comme elle ne l'est jamais parfaitement, il arrive que cette inégalité d'éclat entre les bandes obscures et brillantes, qui est si saillante dans les premières franges, diminue graduellement à mesure qu'on s'éloigne du centre, et finit toujours par devenir insensible à une certaine distance. La raison en est facile à saisir : c'est que la lumière employée, quelque simplifiée qu'elle ait été, soit par sa décomposition dans un prisme, soit par son passage au travers d'un verre coloré, est toujours composée de rayons hétérogènes, dont la couleur et les autres propriétés physiques sont très-peu différentes, mais dans lesquels enfin la période d n'a pas exactement la même longueur : or, il en résulte que les bandes obscures et brillantes, dont elle détermine la position, ne sont pas séparées par les mêmes intervalles. A la vérité, les largeurs des franges produites par les rayons hétérogènes, diffèrent d'autant moins, que la lumière employée s'approche plus d'une homogénéité parfaite; mais quelque petite que soit cette différence, on conçoit qu'étant répétée un grand nombre de fois, elle finira par produire dans la position des franges, une différence telle, que les bandes brillantes d'une espèce de rayons coïncideront avec les bandes obscures de l'autre; en sorte qu'à une distance suffisante de la ligne milieu (qui répond à des chemins égaux) les bandes obscures et brillantes des diverses espèces de rayons de la lumière employée s'effaceront mutuellement par leur mélange, et présenteront une teinte uniforme.

Plus la lumière a été simplifiée, plus le point où cette compensation parfaite a lieu se trouve éloigné du centre, et par conséquent plus on peut apercevoir de franges. Quand on emploie la lumière blanche, qui est la plus composée, le nombre des franges visibles est aussi le plus petit possible, et l'on n'en distingue guère que sept de chaque côté du centre. Elles offrent les teintes des anneaux colorés, et la raison de leur coloration est absolument la même. Si la longueur d était égale pour les rayons de diverses couleurs, la largeur de leurs franges (c'est-à-dire l'intervalle entre les milieux de deux bandes brillantes, ou de deux bandes obscures consécutives) étant aussi la même, il y aurait coïncidence parfaite de leurs points les

plus obscurs, comme de leurs points les plus brillans; et les divers rayons qui composent la lumière blanche se trouvant partout en proportions semblables, produiraient une série de bandes noires et blanches qui ne présenteraient aucune trace de coloration. Mais il n'en est pas ainsi : comme d varie beaucoup pour les rayons diversement colorés, et presque du simple au double, d'une extrémité à l'autre du spectre solaire, la largeur de leurs franges varie suivant le même rapport, en sorte que leurs bandes obscures et brillantes ne peuvent plus se superposer, et diffèrent d'autant plus de position qu'elles s'éloignent davantage de la ligne milieu. Il doit donc arriver que la bande brillante des rayons d'une certaine couleur, corresponde à la bande obscure des rayons d'une autre espèce; d'où résulte la prédominance des premiers, et l'exclusion des seconds. Ainsi les franges présenteront une succession de teintes, variant en raison des proportions inégales, dans lesquelles se mêleront les rayons divers que contient la lumière blanche.

La ligne milieu de la bande centrale est toujours blanche, parce que, répondant à une différence de chemins parcourus égale à zéro, elle est au maximum d'éclat pour toutes les espèces de rayons, quelle que soit la longueur de d. De chaque côté de cette bande blanche, la lumière se colore graduellement; les couleurs sont très-vives dès la seconde frange, ainsi que dans la troisième et la quatrième; mais ensuite elles s'affaiblissent et disparaissent totalement après la huitième, par le mélange plus complet des bandes obscures et brillantes de toutes les couleurs, qui produit une teinte blanche uniforme.

En faisant successivement l'expérience que nous venons de décrire, avec les rayons des sept principales couleurs que Newton distingue dans le spectre solaire, et mesurant les largeurs des bandes à l'aide du micromètre dont nous avons parlé plus haut, on conçoit qu'on peut en déduire, par le calcul, les valeurs correspondantes de d; mais cette observation n'a été faite avec soin que sur la lumière rouge, assez homogène, que laissent passer certains vitraux d'église. Pour les rayons dominans de cette lumière, qui se trouvent voisins de l'extrémité du spectre solaire, la longueur de d est $0^{mm},000638$, en prenant

pour unité la millième partie du mètre. On peut déduire la valeur de d, pour les sept espèces principales de rayons, des observations de Newton sur les anneaux colorés ; il suffit pour cela, comme nous en verrons la raison plus tard, de multiplier par 4 les longueurs de ce qu'il appelle accès de facile réflexion, ou de facile transmission des molécules lumineuses. C'est de cette manière qu'a été calculé le tableau suivant.

LIMITES DES COULEURS PRINCIPALES.	VALEURS EXTRÊMES DE d.	COULEURS PRINCIPALES.	VALEURS MOYENNES DE d.
	mm		mm
Violet extrême. . .	0,000406.	Violet.	0,000423.
Violet-indigo. . . .	0,000439.	Indigo.	0,000449.
Indigo-bleu.. . . .	0,000459.	Bleu.	0,000475.
Bleu-vert.	0,000492.	Vert.	0,000512.
Vert-jaune.	0,000532.	Jaune.	0,000551.
Jaune-orangé.. . .	0,000571.	Orangé.	0,000583.
Orangé-rouge.. . .	0,000596.	Rouge.	0,000620.
Rouge extrême.. .	0,000645.		

Ce que nous venons de dire sur le petit nombre de franges produites par la lumière blanche, et sur le nombre assez limité de celles qu'on peut distinguer dans une lumière autant simplifiée que possible, nous explique pourquoi, dans beaucoup de cas où les rayons, partant d'une source commune, se croisent sous des directions presque parallèles, on n'aperçoit pas néanmoins de franges ; c'est que la différence des chemins parcourus est trop considérable, contient un trop grand nombre de fois d, à tous les points de l'espace éclairé par les deux

faisceaux réunis ; en sorte que la bande centrale, et celles qui en sont assez rapprochées pour être visibles, répondent à des points situés au delà du champ commun de deux faisceaux lumineux. Voilà pourquoi il est si essentiel dans l'expérience des deux miroirs, qu'ils ne saillent pas l'un sur l'autre ; car, à cause de l'extrême petitesse de la quantité d, qui n'est guère qu'un demi-millième de millimètre pour les rayons jaunes, la plus légère saillie, produisant une différence double d'elle-même entre les chemins parcourus, peut rejeter le groupe des franges visibles au delà du champ commun des deux miroirs. [1]

Le raisonnement que nous venons de faire pour expliquer la coloration des franges produites par l'influence mutuelle de deux faisceaux blancs, peut s'appliquer à tous les phénomènes de diffraction dans la lumière blanche. Ces effets résultent toujours de ce que les rayons de diverses couleurs ne produisent pas des bandes obscures et brillantes de même largeur, et par conséquent ne se trouvent plus, en chaque point, dans la proportion qui constitue la lumière blanche. La position de ces bandes étant connue pour chaque espèce de rayons, ainsi que les lois suivant lesquelles leur intensité varie d'un point à un autre, on pourra calculer les proportions de leurs mélanges, et déterminer ensuite les teintes qui en résultent, à l'aide de la formule empirique de Newton, au moyen de laquelle on trouve la teinte qui répond à un mélange quelconque de rayons colorés. Ainsi il suffit d'étudier les phénomènes d'optique dans une lumière homogène, ce qui les réduit à leur plus grand degré de simplicité, et il sera toujours facile d'en conclure les apparences qu'ils doivent présenter dans la lumière blanche. En conséquence, dans tout ce que nous dirons par la suite, nous supposerons tout

[1] Outre les rayons régulièrement réfléchis par les miroirs, il en est toujours qui s'infléchissent dans le voisinage de leurs bords, et prolongent ainsi l'espace commun aux deux champs lumineux. Les rayons régulièrement réfléchis sur l'un des miroirs, en interférant avec les rayons infléchis vers le bord de l'autre, peuvent produire aussi des franges, lorsque la différence de leurs chemins parcourus est assez petite ; mais ces franges se distinguent en général de celles qui résultent de l'interférence des rayons régulièrement réfléchis, par leur forme courbe et leur direction, qui n'est plus perpendiculaire à la ligne qui joint les deux images du point lumineux.

jours qu'on emploie une lumière homogène, à moins que nous ne parlions expressément des résultats obtenus avec la lumière blanche.

On peut conclure facilement de la loi très-simple que nous venons d'exposer relativement à l'influence mutuelle des rayons lumineux, que la largeur des franges, toujours proportionnelle à la longueur de d, doit être en outre en raison inverse de l'intervalle qui sépare les deux images du point lumineux, et en raison directe de leur distance au micromètre, ou, en d'autres termes, doit être en raison inverse de l'angle sous lequel l'observateur verrait cet intervalle, en plaçant son œil au point où il mesure les franges.

La même loi géométrique s'applique aux franges produites par deux fentes très-fines pratiquées dans un écran. La largeur de ces franges est toujours en raison directe de la distance à l'écran, et en raison inverse de l'intervalle compris entre les milieux des deux fentes.

Cette loi a encore lieu d'une manière approximative pour les franges qu'on observe dans l'ombre d'un corps étroit, du moins tant qu'elles ne s'approchent pas trop des limites de l'ombre; car, dans ce cas, elles suivent une loi plus compliquée, qui repose néanmoins sur des principes très-simples, mais ne peut être représentée que par une fonction transcendante, contenant, outre la largeur du corps et sa distance au micromètre, sa distance au point lumineux.

Quant aux franges extérieures qui bordent les ombres, leur largeur dépend toujours à la fois de ces deux distances. La première restant constante, elles sont d'autant plus larges que la seconde est plus petite.

Lorsque les positions respectives du point lumineux et de l'écran ne changent point au contraire, et qu'on fait varier seulement la distance du micromètre à l'écran, on observe que la largeur des franges extérieures ne lui est pas proportionnelle, comme celle des franges intérieures. On peut énoncer le fait d'une manière plus géométrique, en concevant une ligne droite menée par le point lumineux, tangentiellement au bord du corps opaque (ligne qui détermine la limite de ce que nous avons appelé l'ombre géométrique), et en disant que si l'on

suit dans l'espace le milieu de la même bande obscure ou brillante, et qu'on abaisse de ce point, à chaque station, une perpendiculaire sur la tangente, on trouve bien que cette petite perpendiculaire augmente à mesure qu'on s'éloigne du corps opaque, mais dans une proportion moindre que la distance à ce corps. D'où il résulte que le même point d'une bande obscure ou brillante des franges extérieures ne décrit pas une ligne droite, mais une courbe, dont la convexité est tournée en dehors. C'est ce qu'on peut mettre en évidence par des mesures précises, en employant le micromètre dont j'ai donné la description. Comme ce résultat est très-remarquable, je crois devoir citer ici une des expériences qui m'ont servi à le démontrer : elle a été faite dans la lumière sensiblement homogène que laisse passer cette espèce de verre rouge dont j'ai déjà parlé.

Le corps opaque étant à 3018^{mm} du point lumineux, j'ai mesuré successivement l'intervalle compris entre le bord de l'ombre géométrique[1] et le point le plus sombre de la bande obscure du troisième ordre; d'abord à $1^{mm},7$ du corps opaque, ensuite à 1003^{mm}, enfin à 3995^{mm}; et j'ai trouvé premièrement, $0^{mm},08$; deuxièmement, $2^{mm},20$; troisièmement, $5^{mm},83$. Or, si l'on joint, par une ligne

[1] Le bord de l'ombre se fond tellement avec la frange du premier ordre, qu'il est impossible de juger à l'œil où se trouve la limite de l'ombre géométrique, point auquel j'ai rapporté dans tous mes calculs la position des bandes obscures et brillantes des différens ordres. Aussi n'est-ce pas directement que je détermine sa place, mais par un calcul très-simple que je vais indiquer. L'écran que j'emploie est un fil ou cylindre métallique assez gros pour qu'à la plus grande distance à laquelle j'observe les franges extérieures, elles n'éprouvent aucune altération sensible de la part des rayons infléchis qui pourraient venir du côté opposé, ce dont je m'assure en collant un petit carton sur une partie du cylindre métallique, de manière à laisser un de ces bords à découvert, et en regardant si cet élargissement de l'écran n'a rien changé à la position des bandes extérieures, et si elles sont sur le prolongement de celles qui répondent à la partie du cylindre sans écran. Cela posé, si je veux connaître, par exemple, la position du point le plus obscur de la bande du troisième ordre, par rapport au bord de l'ombre géométrique, comme dans l'expérience dont il s'agit, je mesurerai l'intervalle compris entre les points les plus sombres des deux bandes du troisième ordre situées de chaque côté de l'ombre. On voit qu'il suffira d'en retrancher ensuite la largeur de l'ombre géométrique, et de diviser le reste par deux pour avoir la distance de chacun de ces points minima de la bande obscure du troisième ordre au bord de l'ombre géométrique. Or si l'on mesure avec soin le diamètre du cy-

droite, les deux points extrêmes, on trouvera $1^{mm},52$ pour l'ordonnée de cette droite qui répond au point intermédiaire; c'est-à-dire, que si la bande obscure du troisième ordre parcourait une ligne droite, sa distance, au bord de l'ombre géométrique, serait, en ce point, de $1^{mm},52$, au lieu de $2^{mm},20$ que nous a donné l'observation. Or, la différence $0^{mm}68$, est une fois et demie environ l'intervalle compris entre les milieux des bandes du troisième ordre et du second; car cet intervalle, à 1003^{mm} du corps opaque, n'était que de $0^{mm},42$; ainsi il est bien évident que la différence de $0^{mm},68$ ne peut pas être attribuée à une inexactitude résultante de la difficulté de bien juger le point le plus sombre de la bande obscure, puisque, pour se tromper de cette quantité, il aurait fallu passer par-dessus la bande brillante voisine, et aller même au delà de la bande obscure suivante.

On ne pourrait pas mieux expliquer cette différence, en supposant une inexactitude dans la troisième observation faite à 3995^{mm} du corps opaque. A la vérité, les franges étant plus larges, les mesures ont dû avoir moins de précision; mais d'abord, en les prenant plusieurs fois, je n'ai remarqué que des variations de trois ou quatre centièmes de millimètre en plus. D'ailleurs, en suppo-

---

lindre employé, connaissant sa distance au point lumineux et à l'endroit où l'on observe les franges, il sera facile de calculer la largeur de l'ombre géométrique au même endroit; il suffira pour cela d'établir la proportion suivante : la distance du point lumineux au cylindre est au diamètre de ce cylindre comme la distance du point lumineux au fil du micromètre est à un quatrième terme, qui sera précisément la largeur cherchée de l'ombre géométrique.

Je mesure le diamètre de ces cylindres à l'aide d'un petit instrument très-simple semblable à un tire-pied de cordonnier, dont le vernier me donne immédiatement les cinquantièmes de millimètre, et me permet d'estimer les centièmes. Au lieu d'employer des cylindres, je me suis même le plus souvent servi directement de cet instrument; j'écartais l'une de l'autre les deux petites plaques dont le vernier m'indiquait l'intervalle, ayant soin que cet intervalle fût assez grand pour que les franges extérieures produites par une des plaques ne se mêlassent pas avec celles de l'autre, et après avoir mesuré la distance comprise entre les deux bandes obscures du troisième ordre, par exemple, j'en retranchais la largeur de la projection de l'ouverture entre les plaques (que je calculais comme celle de l'ombre géométrique dans la méthode précédente); et divisant le reste par deux, j'avais la distance du bord de l'ombre géométrique de chaque plaque à sa bande obscure du troisième ordre.

sant même, sur cette mesure, une erreur d'un demi-millimètre (erreur impossible), il n'en résulterait qu'une différence de $0^{mm},13$, pour le point situé à 1003^{mm} du corps opaque. Ainsi cette expérience démontre complétement que les franges extérieures suivent dans leur marche de propagation des lignes courbes, dont la convexité est tournée en dehors.

J'ai fait beaucoup d'autres observations du même genre, qui toutes confirment ce résultat singulier. Mais l'expérience que je viens de citer suffit pour mettre hors de doute la courbure sensible des trajectoires suivant lesquelles se propagent les franges extérieures.

Ce résultat remarquable paraît très-difficile à concilier avec le système de l'émission; car la manière la plus naturelle d'expliquer les franges extérieures dans ce système, serait de supposer que le pinceau de lumière qui vient raser le bord de l'écran, éprouve dans son voisinage des dilatations et des condensations alternatives, qui donnent naissance aux bandes obscures et brillantes. Mais alors ces différens faisceaux de pinceaux condensés ou dilatés, devraient marcher en ligne droite, après avoir dépassé l'écran; car si l'on admet dans la théorie newtonienne que les corps peuvent exercer sur les molécules lumineuses des attractions et des répulsions très-énergiques, on n'a jamais supposé cependant que ces forces étendissent leur action à des distances aussi considérables que les dimensions de ces trajectoires, qui présentent une courbure sensible sur plusieurs mètres de longueur : cette nouvelle hypothèse entraînerait une foule de difficultés plus embarrassantes encore que celle dont il s'agit.

La marche curviligne des franges ne peut s'expliquer d'une manière satisfaisante que par l'influence mutuelle des rayons lumineux, quelle que soit la théorie que l'on adopte; c'est le seul moyen de concevoir comment les rayons infléchis ou diffractés dans le voisinage du corps, peuvent, sans cesser de se propager en ligne droite, donner naissance à des trajectoires courbes des bandes obscures et brillantes; il suffit en effet pour cela que les différens points dans lesquels ils se fortifient ou s'affaiblissent le plus par leur réunion, soient situés sur des lignes courbes, au lieu d'être en lignes droites. C'est ce qui arrive

rait, par exemple, si les franges extérieures résultaient du concours des rayons directs avec les rayons réfléchis sur le bord de l'écran ; car alors les points de *maximum* ou de *minimum* de lumière à différentes distances de l'écran, seraient situés sur des hyperboles ayant pour foyers le point lumineux et le bord de l'écran, comme il est aisé de le conclure de la loi très-simple de l'influence mutuelle des rayons lumineux. Ce n'est pas, à la vérité, par la seule réunion des rayons directs et des rayons réfléchis sur le bord de l'écran que les franges extérieures sont produites, comme nous le verrons bientôt ; une infinité d'autres rayons infléchis près du corps opaque, concourent à leur formation ; mais leurs trajectoires sont néanmoins des courbes de même nature, et ces bandes obscures et brillantes résultent toujours de l'action mutuelle des rayons lumineux, sans laquelle il serait impossible de concevoir leur marche curviligne. Ainsi, quelque système qu'on adopte, il faut nécessairement admettre une influence mutuelle des rayons lumineux, qui, d'ailleurs, est si complétement démontrée par les expériences rapportées précédemment, qu'on peut la regarder maintenant comme un des principes les plus certains de l'optique.

Il paraît difficile de concevoir un pareil phénomène dans le système de l'émission, où l'on ne peut supposer aucune dépendance entre les mouvemens des diverses molécules lumineuses, sans renverser l'hypothèse fondamentale. Il faudrait donc admettre que cette action des rayons lumineux les uns sur les autres n'a point de réalité, n'est qu'apparente ; c'est-à-dire, en d'autres termes, que le phénomène se passe seulement dans l'œil, où les chocs successifs des molécules lumineuses contre le nerf optique, augmenteraient ou diminueraient les vibrations déjà commencées, selon qu'ils contrarieraient ou favoriseraient le mouvement de ces vibrations naissantes ; c'est ainsi que, quand on veut mettre en branle une cloche pesante, il ne suffit pas de multiplier les impulsions, il faut laisser entre elles un intervalle de temps convenable et régulier, déterminé par la durée des oscillations de la cloche, de telle sorte que l'impulsion conspire toujours avec le mouvement acquis.

Cette explication ingénieuse, indiquée par M. Young

lui-même aux partisans du système de l'émission, présente de grandes difficultés, lorsque, la suivant dans ses conséquences, on la compare avec les faits. Mais nous n'entrerons pas ici dans cette discussion, quelque intérêt qu'elle présente, afin de ne point sortir des bornes qui nous sont prescrites.[1] D'ailleurs les nouveaux phénomènes de diffraction dont nous allons nous occuper maintenant, lesquels nous paraissent décisifs, et en contradiction manifeste avec le système de l'émission, rendent en quelque sorte cette discussion superflue.

M. Young avait supposé, et j'avais pensé aussi après lui (avant de connaître ce qu'il avait publié sur ce sujet), que les franges extérieures sont produites par le concours des rayons directs et des rayons réfléchis sur le bord de l'écran ; mais s'il en était ainsi, le tranchant d'un rasoir, qui présente une si petite surface à la réflexion, devrait produire des franges extérieures beaucoup plus faibles que le dos du rasoir qui réfléchit beaucoup plus de lumière. Or, on ne remarque aucune différence d'intensité entre les franges qu'ils donnent, du moins quand on ne les observe pas trop près du rasoir.

Lorsqu'on fait passer les rayons d'un point lumineux à travers une ouverture étroite d'un demi-millimètre de largeur, par exemple, et d'ailleurs d'une longueur quelconque; si le point lumineux n'est pas trop près de cette ouverture, on voit toujours, en s'éloignant suffisamment, le faisceau lumineux qui la traverse se dilater sensiblement, et peindre sur le carton blanc, ou au foyer de la loupe dont on se sert pour observer l'ombre de l'écran, une bande brillante beaucoup plus large que la projection conique de cette ouverture.[2]

Supposons que les bords soient très-minces, tels que deux tranchans parfaitement effilés, non que cela influe sur le phénomène, mais afin de rendre plus évidente la conséquence qu'on doit en tirer. S'il n'y avait

---

[1] On trouvera cette question traitée avec quelque détail dans le Mémoire sur la diffraction qui va être imprimé dans le Recueil des Mémoires des savans étrangers.

[2] J'appelle ainsi la projection formée par des lignes droites partant du point lumineux et tangentes aux bords de l'ouverture.

que les rayons qui ont rasé le fil des tranchans qui éprouvassent quelque inflexion, il ne se répandrait dans l'ombre qu'une partie extrêmement petite de la lumière introduite par l'ouverture ; les rayons infléchis ne présenteraient ainsi qu'une faible lueur au milieu de laquelle se détacherait vivement la projection brillante de l'ouverture formée par le pinceau des rayons directs. Or, ce n'est point ce qu'on observe, comme nous venons de le dire, lorsque le micromètre et le point lumineux sont l'un et l'autre assez éloignés de l'écran ; on voit le faisceau introduit répandre une lumière à peu près uniforme dans un espace beaucoup plus large que la projection de l'ouverture. Nous avons supposé qu'elle était étroite (qu'elle n'avait qu'un demi-millimètre de largeur), pour indiquer une expérience qu'on pût répéter dans une chambre obscure de cinq à six mètres de profondeur ; mais lorsque le point lumineux est à une distance infinie, comme une étoile, on peut toujours obtenir une dilatation semblable du faisceau introduit, avec une ouverture d'une largeur quelconque, en s'en éloignant suffisamment.

Il résulte de ces expériences, que les rayons lumineux peuvent être déviés de leur direction primitive par le voisinage d'un écran, non-seulement contre les bords mêmes de l'écran, mais encore à des distances très-sensibles de ces bords.

Suivons maintenant les conséquences de ce principe dans le système de l'émission. Si les molécules lumineuses sont dérangées de leur direction primitive par l'influence des corps, en passant à des distances sensibles de leur surface, il faut nécessairement supposer, d'après ce système, que cet effet est produit par des forces attractives ou répulsives qui émanent des corps, et dont la sphère d'activité embrasse les mêmes intervalles, ou bien l'attribuer à de petites atmosphères aussi étendues que ces sphères d'activité, et dont le pouvoir réfringent différerait de celui du milieu environnant. Mais il résulterait également de ces deux hypothèses, que l'inflexion des rayons varierait avec la forme, la grosseur ou la nature des bords de l'ouverture, dans l'expérience que nous avons citée : or l'on peut s'assurer par des mesures précises, que ces circonstances n'exercent aucune influence appréciable sur le

phénomène, [1] et que la dilatation des faisceaux lumineux dépend uniquement de la largeur de l'ouverture. *Les phénomènes de la diffraction sont donc inexplicables dans le système de l'émission.*

Comme cette objection me paraît capitale et décisive, je crois devoir citer encore quelques-unes des expériences qui confirment le principe sur lequel elle est appuyée.

J'ai fait passer un faisceau lumineux entre deux plaques d'acier très-rapprochées, dont les bords verticaux, bien dressés sur toute leur longueur, étaient tranchans dans une moitié, arrondis dans l'autre, et disposés de manière que le bord arrondi d'une des plaques répondait au tranchant de l'autre, et réciproquement. Il en résultait que le tranchant se trouvant à droite, par exemple, dans la partie supérieure de l'ouverture, était à gauche dans la partie inférieure. Par conséquent, pour peu que la différence d'action des deux bords eût porté les rayons plus d'un côté que de l'autre, je m'en serais aperçu aux positions relatives des parties supérieures et inférieures de l'intervalle brillant du milieu, et surtout à celles des franges qui l'accompagnent, et qui auraient paru brisées dans la partie correspondante au point où le tranchant supérieur s'arrondissait brusquement et où commençait le tranchant inférieur de l'autre plaque. Mais en observant attentivement ces bandes, je n'ai remarqué aucun point de rupture ni d'inflexion dans toute leur longueur; elles étaient droites et continues, comme lorsque les plaques étaient disposées de manière que les parties de même forme fussent opposées l'une à l'autre.

Plusieurs années auparavant, Malus et M. Bertholet, en faisant des expériences de diffraction avec des plaques composées de deux parties de natures différentes, l'une d'ivoire et l'autre de métal, par exemple, avaient reconnu, d'après la position des franges, que les effets diffractifs des diverses matières étaient les mêmes; et quoique les observations de ces savans célèbres ne pussent pas avoir tout-à-fait autant de précision que les mesures qu'on ob-

---

[1] Du moins tant qu'on n'observe pas les franges très-près de l'écran, ou que la surface rasée par les rayons lumineux n'est pas celle d'un miroir plan trop étendu.

tient, à l'aide du micromètre, par le procédé nouveau que j'ai indiqué, elles suffisaient néanmoins pour démontrer, que si la différence de nature des substances avait quelque influence inaperçue sur la déviation des rayons, cette influence était beaucoup plus faible que celle qu'on aurait dû attendre de la grande différence de pouvoir réfringent et réfléchissant des substances employées, en attribuant l'inflexion de la lumière à des forces attractives ou répulsives qu'elles exerceraient sur les molécules lumineuses.

Je citerai encore une expérience par laquelle j'ai prouvé jusqu'à l'évidence que la masse et la nature des bords de l'écran n'exercent aucune influence appréciable sur la déviation des rayons lumineux.

J'ai recouvert une glace non étamée d'une couche d'encre de Chine, unie à une feuille mince de papier, formant ensemble une épaisseur d'un dixième de millimètre; avec la pointe d'un canif, j'ai tracé deux lignes parallèles, et j'ai enlevé soigneusement, entre ces deux traits, le papier et l'encre de Chine qui adhérait à la surface du verre. J'ai mesuré cette ouverture au micromètre, et j'en ai formé une de même largeur, en rapprochant l'un de l'autre deux cylindres de cuivre massif, qui avaient à peu près un centimètre et demi de diamètre; ils étaient placés à côté de la glace noircie, et à même distance du point lumineux. En observant et mesurant au micromètre la dilatation du faisceau lumineux introduit par par ces deux ouvertures, je l'ai trouvée absolument la même de part et d'autre. Cependant, quant à la masse et à la nature des bords de l'ouverture, il serait difficile d'imaginer des circonstances plus dissemblables : dans l'un des cas la diffraction était produite par les bords d'une simple couche d'encre de Chine unie à une feuille mince de papier, puisque la glace sur laquelle elles étaient appliquées s'étendait à l'ouverture comme au reste de l'écran; dans l'autre, la lumière était infléchie par deux cylindres de cuivre, qui présentaient aux rayons des masses et des surfaces considérables.

Il est donc bien prouvé que la nature des corps ainsi que leur masse ou l'épaisseur de leurs bords, n'ont aucune influence sensible sur la déviation des rayons lumi-

neux qui passent dans leur voisinage, et il est également évident que ce fait remarquable ne saurait se concilier avec le système de l'émission.

La théorie des ondulations, au contraire, en donne l'explication, et fournit même les moyens de calculer tous les phénomènes de la diffraction; et les résultats du calcul s'accordent très-bien avec les observations, comme on peut le voir dans l'Extrait du Mémoire sur la diffraction, publié dans le tome XI des Annales de chimie et de physique.

Je n'entreprendrai pas ici d'exposer en détail les raisonnemens et les calculs qui conduisent aux formules générales dont je me suis servi pour déterminer la position des franges et l'intensité des rayons infléchis; mais je crois nécessaire de donner au moins une idée nette des principes sur lesquels repose cette théorie, et particulièrement du principe des *interférences*,[1] qui explique l'influence mutuelle que les rayons lumineux exercent les uns sur les autres.

Ce phénomène singulier, si difficile à expliquer d'une manière satisfaisante dans le système de l'émission, est au contraire une conséquence si naturelle de la théorie des ondulations, qu'elle aurait pu l'annoncer d'avance. Tout le monde a remarqué, en jetant des pierres dans une eau tranquille, que, lorsque deux groupes d'ondes se croisent sur sa surface, il y a des points de rencontre où elle reste immobile, quand les deux systèmes d'ondes sont à peu près de même force, tandis qu'il en est d'autres où les ondes se renflent par leur réunion. La raison en est facile à concevoir. Le mouvement ondulatoire de la surface de l'eau consiste dans des mouvemens verticaux, qui élèvent et abaissent alternativement les molécules du liquide. Or, par l'effet même du croisement des ondes, il arrive que, dans certains points de rencontre, une des deux ondes apporte un mouvement ascensionnel, tandis que l'autre tend au même instant à abaisser la surface du liquide; lorsque les deux impulsions sont égales, il ne peut donc obéir à l'une plutôt qu'à l'autre, et doit

[1] C'est le nom que lui a donné M. Young, qui en a fait tant d'applications ingénieuses, et l'a introduit le premier dans l'optique.

rester en repos. Au contraire, dans les points de rencontre où les mouvemens conspirent, où ils sont constamment d'accord, le liquide, poussé dans le même sens par les deux ondes, s'élève ou s'abaisse avec une vitesse égale à la somme des deux impulsions qu'il a reçues, ou au double d'une d'elles, pour le cas particulier que nous considérons, puisque nous supposons les deux ondes de même intensité. Entre ces points d'un accord parfait et d'une opposition complète, qui présentent, les uns l'absence totale de mouvement, et les autres, au contraire, le maximum d'oscillation du liquide, il est une infinité d'autres points intermédiaires, où le balancement ondulatoire s'exécute avec plus ou moins d'énergie, selon qu'ils se rapprochent davantage de l'accord parfait ou de l'opposition complète des deux mouvemens qui s'y rencontrent.

Les ondes qui se propagent dans l'intérieur d'un fluide élastique, quoique bien différentes, par leur nature, de celles dont nous venons de parler, produisent des résultats mécaniques tout-à-fait analogues dans leurs interférences, dès qu'elles communiquent aux molécules du fluide des mouvemens oscillatoires. En effet, il suffit que ces mouvemens soient oscillatoires, c'est-à-dire portent les molécules alternativement dans deux sens opposés, pour que l'effet d'une série d'ondes puisse être détruit par celui d'une autre série de même intensité; car, dès que la différence de marche entre les deux groupes d'ondes sera telle que, pour chaque point du fluide, les mouvemens dans un sens du premier correspondront aux mouvemens en sens opposé du second, ils se neutraliseront mutuellement, s'ils sont d'égale intensité, et les molécules du fluide resteront en repos. Ce résultat a toujours lieu, quelle que soit d'ailleurs la direction du mouvement oscillatoire, par rapport à celle suivant laquelle les ondes se propagent, pourvu que celle-là soit la même dans les deux systèmes d'ondes. Ainsi, par exemple, dans les ondes qui se forment sur la surface d'un liquide, l'oscillation se fait verticalement, tandis que les ondes se propagent horizontalement, et par conséquent suivant une direction perpendiculaire à la première; dans les ondes sonores, au contraire, le mouvement oscillatoire est pa-

rallèle à la direction de propagation; et celles-ci, comme les autres, sont soumises à la loi d'interférence.

Nous venons de parler, d'une manière générale, des ondes qui peuvent se former dans l'intérieur d'un fluide : pour se faire une idée nette de leur mode de propagation, il faut remarquer que, lorsque le fluide a dans tous les sens la même densité et la même élasticité, l'ébranlement produit en un point doit se propager de tous les côtés avec la même vitesse; car cette vitesse de propagation (qu'il ne faut pas confondre avec la vitesse absolue des molécules) dépend uniquement de la densité et de l'élasticité du fluide. Il résulte de là que tous les points ébranlés, au même instant, doivent se trouver sur une surface sphérique, ayant pour centre l'origine de l'ébranlement; ainsi ces ondes sont sphériques, tandis que celles qu'on observe à la surface d'un liquide sont simplement circulaires.

On appelle *rayons*, les lignes droites menées du centre d'ébranlement aux différens points de cette surface sphérique; ce sont les directions suivant lesquelles le mouvement se propage. Voilà ce qu'on entend par *rayons sonores*, dans l'acoustique, et par *rayons lumineux*, dans le système où l'on attribue la production de la lumière aux vibrations d'un fluide universel, auquel on a donné le nom d'*éther*.

La nature des différens mouvemens élémentaires dont se compose chaque onde, dépend de la nature des différens mouvemens qui composent l'ébranlement primitif. L'hypothèse la plus simple à faire sur la formation des ondes lumineuses, c'est que les petites oscillations des molécules des corps qui les produisent, sont analogues à celles d'un pendule qu'on a un peu écarté de sa position d'équilibre; car il faut concevoir les molécules des corps, non pas comme fixées d'une manière inébranlable dans les positions qu'elles occupent, mais comme suspendues par des forces qui se font équilibre en tous sens : or, quelle que soit la nature de pareilles forces, qui maintiennent les molécules dans cette situation, tant que les molécules ne sont écartées de leur position d'équilibre que d'une quantité très-petite par rapport à la sphère d'activité de ces forces, la force accélératrice qui

tend à les y ramener, et qui par cela même les fait osciller de part et d'autre du point d'équilibre, peut être regardée comme sensiblement proportionnelle à l'écartement; ce qui rentre précisément dans la loi des petites oscillations du pendule, et de toutes les petites oscillations en général. Cette hypothèse, indiquée par l'analogie, et la plus simple qu'on puisse faire sur les vibrations des particules éclairantes, doit conduire à des résultats exacts, puisqu'on ne remarque pas que les propriétés optiques de la lumière varient avec les circonstances qui semblent devoir apporter le plus de différence dans l'énergie de ces vibrations.

Il résulte de cette hypothèse des petites oscillations que la vitesse qui anime la molécule vibrante à chaque instant est proportionnelle au sinus du temps, compté à partir de l'origine du mouvement, en prenant, pour la circonférence, le temps que la molécule met à revenir au point de départ, c'est-à-dire la durée de deux oscillations, l'une dans un sens et l'autre en sens contraire. Telle est la loi d'après laquelle j'ai calculé les formules qui servent à déterminer la résultante d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes dont les intensités et les positions relatives sont données [1].

Sans entrer dans les détails de ces calculs, je crois nécessaire de faire voir comment la nature de l'onde dépend du genre de mouvement de la particule vibrante.

Concevons, dans le fluide, un petit plan solide qu'on a écarté de sa position primitive, à laquelle il est ramené par une force proportionnelle à l'écartement. Au commencement de son mouvement, la force accélératrice ne lui imprime qu'une vitesse infiniment petite; mais son action continuant, ses effets s'ajoutent, et la vitesse du plan solide va toujours en croissant, jusqu'au moment où il arrive à la position d'équilibre, dans laquelle il resterait, s'il n'avait une vitesse acquise; c'est en raison de cette vitesse qu'il dépasse le point d'équilibre. La même force, qui tend à l'y ramener, et qui agit alors en sens

[1] On trouvera ces formules et le détail des calculs dans le Mémoire sur la diffraction déjà cité, pages 254, 255 et 256 du tome XI des Annales de chimie et de physique.

contraire du mouvement acquis, diminue sans cesse la vitesse, jusqu'à ce qu'elle soit réduite à zéro; alors son action continuant, produit une vitesse en sens contraire, qui ramène le mobile vers sa position d'équilibre. Cette vitesse, presque nulle au commencement du retour, croît par les mêmes degrés qu'elle avait diminué, jusqu'à l'instant où le mobile arrive au point d'équilibre, qu'il dépasse en vertu du mouvement acquis; mais à partir de ce point, le mouvement diminue sans cesse par l'effet de la force qui tend à y ramener le mobile; et sa vitesse est réduite à zéro quand il atteint son point de départ. Alors, il recommence, avec les mêmes périodes, les mouvemens que nous venons de décrire, et continuerait à osciller indéfiniment, sans la résistance du fluide qui l'entoure, dont l'inertie diminue progressivement l'amplitude de ses oscillations, et finit par les éteindre tout-à-fait au bout d'un temps plus ou moins long.

Voyons maintenant de quelle manière le fluide est ébranlé par ces oscillations du plan solide. La couche immédiatement en contact, poussée par ce plan, prend à chaque instant la vitesse dont il est animé et la communique à la couche suivante, qu'elle pousse à son tour, et d'où ce mouvement passe successivement dans toutes les couches du fluide; mais cette transmission du mouvement ne se fait pas d'une manière instantanée, et ce n'est qu'au bout d'un certain temps qu'il arrive à une distance déterminée du centre d'ébranlement. Ce temps est d'autant plus court, que le fluide a moins de densité et plus de force élastique, c'est-à-dire que ses molécules se repoussent les unes les autres avec plus d'énergie. Cela posé, prenons, pour fixer les idées, l'instant où le plan solide est retourné au point de départ, après avoir exécuté deux oscillations en sens opposés : alors la vitesse qu'il avait au premier moment, et qui était sensiblement nulle, se trouve, à l'instant que nous considérons, transmise à une tranche du fluide éloignée du centre d'ébranlement d'une quantité que nous représenterons par d. Immédiatement après, la vitesse du plan solide, qui a un peu augmenté, s'est communiquée à la tranche en contact; de celle-ci elle est passée successivement par toutes les tranches suivantes; et, au moment où le premier ébranlement parvient

à la tranche située à la distance d, le second arrive dans la tranche immédiatement précédente. En continuant à diviser, par la pensée, la durée des deux oscillations du plan solide, en une infinité de petits intervalles de temps, et le fluide compris dans la longueur d, en un même nombre de tranches correspondantes infiniment minces, il est aisé de voir, par le même raisonnement, que les différentes vitesses du plan mobile, à chacun de ces instans, se trouvent maintenant distribuées dans les tranches correspondantes; et qu'ainsi, par exemple, la vitesse dont le plan solide était animé au milieu de la première oscillation, doit être parvenue, à l'instant que nous considérons, à la distance $\frac{1}{4}d$: c'est donc la couche située à cette distance qui est animée en cet instant du maximum de vitesse en avant : [1] de même quand le plan est arrivé à la limite de sa première oscillation, sa vitesse était nulle, et cette absence de mouvement doit se retrouver dans la tranche située à la distance $\frac{1}{2}d$. Par sa seconde oscillation, le plan, retournant sur ses pas, doit donner à la tranche de fluide en contact, et successivement aux autres, des mouvemens contraires à ceux de la première oscillation; car lorsque le plan recule, la tranche en contact, poussée contre ce plan par l'élasticité ou la force expansive du fluide, le suit nécessairement, et remplit le vide que son mouvement rétrograde tend à produire. Par la même raison, la tranche suivante se porte vers la première, la troisième vers la seconde, et ainsi de suite. Voilà comment le mouvement rétrograde se communique de proche en proche, jusqu'aux tranches les plus éloi-

---

[1] Je suppose que les oscillations de ce plan ont assez peu d'amplitude par rapport à la longueur d, pour qu'on puisse faire abstraction des petits déplacemens du plan dans le calcul des distances où sont parvenues les impulsions successives qu'il a communiquées au fluide. Cette hypothèse est très-fondée, parce qu'il y a tout lieu de penser que les plus grandes vibrations des particules incandescentes sont extrêmement petites par rapport à la longueur d'une ondulation lumineuse, qui, quoique très-petite aussi, est cependant une quantité appréciable et qu'on peut mesurer. D'ailleurs, quand même l'amplitude de ces oscillations ne serait pas négligeable devant une longueur d'ondulation, il suffirait de considérer une onde suffisamment éloignée du centre d'ébranlement pour pouvoir compter les distances à partir de ce centre, en faisant abstraction des petits déplacemens de la particule vibrante.

gnées. Sa propagation s'exécute suivant la même loi que celle du mouvement en avant; il n'y a de différence que dans le sens des mouvemens, ou, en langage mathématique, que dans le signe des vitesses qu'ils impriment aux molécules du fluide. On voit donc que les différentes vitesses qui ont animé le plan solide, pendant sa seconde oscillation, doivent animer, au moment que nous considérons, les diverses tranches comprises entre le milieu de la distance d et le centre d'ébranlement. Elles sont égales à celles des tranches comprises dans l'autre moitié de d, mais de signe contraire. Ainsi, par exemple, la vitesse que le plan avait au milieu de sa seconde oscillation, qui est son maximum de vitesse rétrograde, doit se trouver maintenant dans la tranche fluide située à $\frac{1}{4}$ de d du centre d'ébranlement, tandis que le maximum de vitesse en avant anime, au même instant, la tranche qui est à $\frac{1}{4}$ de d du centre d'ébranlement.

L'étendue du fluide, ébranlée par deux oscillations en sens contraires du plan solide, est ce que nous appellerons *ondulation entière*, et nous donnerons en conséquence le nom de *demi-ondulation* à chacune des moitiés ébranlées par ces oscillations opposées, dont l'ensemble pourrait être nommé *oscillation complète*, puisqu'il comprend le retour du plan vibrant, au point de départ. On voit que les deux demi-ondulations qui composent l'ondulation complète, présentent, dans les tranches fluides qu'elles embrassent, des vitesses absolument pareilles quant à la grandeur, mais qui sont de signes contraires, c'est-à-dire qui portent les molécules du fluide dans des sens opposés. Ces vitesses sont, à leur maximum, au milieu de chacune de ces demi-ondulations, et décroissent graduellement jusqu'à leurs extrémités, où elles se réduisent à zéro; ainsi les points de repos et de plus grande vitesse positive ou négative, sont séparés par des intervalles d'un quart d'ondulation.

La longueur d d'une ondulation dépend de deux choses : 1° de la promptitude avec laquelle le mouvement se propage dans le fluide; 2° de la durée de l'oscillation complète du plan vibrant; car plus sa durée sera longue et la propagation du mouvement rapide, plus le premier ébranlement sera loin du plan solide au moment où celui-ci

reviendra à son point de départ. Si les oscillations s'exécutent dans le même milieu, la promptitude de propagation restant la même, la longueur des ondulations sera seulement proportionnelle à la durée des oscillations des particules vibrantes qui leur donnent naissance. Lorsque les particules vibrantes restent soumises aux mêmes forces, la mécanique démontre que chacune de leurs petites oscillations a toujours la même durée, quelle que soit son amplitude; ainsi les ondulations correspondantes auront dans ce cas la même longueur; elles ne différeront que par l'énergie plus ou moins grande des oscillations des tranches fluides, dont l'amplitude sera proportionnelle à celle des oscillations des particules éclairantes; car on voit, d'après ce qui vient d'être dit, que chaque tranche du fluide répète tous les mouvemens de la molécule vibrante. L'amplitude plus ou moins grande des oscillations des tranches du fluide détermine le degré de vitesse absolue avec laquelle elles se meuvent, et par conséquent l'énergie, mais non pas la nature de la sensation, qui doit dépendre, d'après toutes les analogies, de la durée de ces oscillations. C'est ainsi que la nature des sons que l'air transmet à notre oreille tient uniquement à la durée de chacune des oscillations exécutées par l'air, ou le corps sonore qui le met en vibration, et que le plus ou moins d'amplitude, ou d'énergie de ces oscillations, ne fait qu'augmenter ou diminuer l'intensité du son, sans changer sa nature, c'est-à-dire *le ton*.

L'intensité de la lumière dépendra donc de l'intensité des vibrations de l'éther; et sa nature, c'est-à-dire la sensation de couleur qu'elle produit, dépendra de la durée de chaque oscillation, ou de la longueur d'ondulation, puisque celle-ci est proportionnelle à celle-là.

La durée d'oscillation restant la même, la vitesse absolue des molécules éthérées, aux époques correspondantes du mouvement oscillatoire, est, comme nous venons de le dire, proportionnelle à son amplitude [1].

---

[1] Il ne faut pas confondre cette vitesse absolue des molécules du fluide avec la vitesse de propagation de l'ébranlement. La première varie selon l'amplitude des oscillations; la seconde, qui n'est autre chose que la promptitude avec laquelle le mouvement se communique

C'est le carré de cette vitesse, multiplié par la densité du fluide, qui représente ce qu'on appelle la force vive en mécanique, et qu'on doit prendre pour la mesure de la sensation produite, ou de l'intensité de la lumière; ainsi, par exemple, si, dans le même milieu, les amplitudes d'oscillation sont doublées, les vitesses absolues le seront aussi, et la force vive, ou l'intensité de la lumière sera quadruplée.

A mesure que l'onde s'éloigne du centre d'ébranlement, le mouvement, se répandant sur une plus grande étendue, doit s'affaiblir dans chaque point de l'onde. Le calcul démontre que l'affaiblissement du mouvement oscillatoire, ou la diminution de la vitesse absolue des molécules du fluide, est proportionnelle à la distance au centre d'ébranlement. Par conséquent, le carré de cette vitesse est en raison inverse du carré de cette distance; ainsi l'intensité de la lumière doit décroître proportionnellement au carré de la distance au point lumineux. Il est à remarquer que, par cela même, la somme des forces vives comprise dans l'onde reste constante; car, d'une part, sa longueur *d* d'ondulation (qu'on pourrait appeler son épaisseur) ne change pas; et, d'un autre côté, son étendue en superficie, augmentant en raison du carré de la distance au centre d'ébranlement, la quantité, ou la masse du fluide ébranlée par l'onde, est proportionnelle au carré de cette distance. Or, comme les carrés des vitesses absolues ont précisément diminué dans le même rapport que les masses ont augmenté, il s'ensuit que la somme des produits des masses par les carrés des vitesses, c'est-à-dire la somme des forces vives reste constante. C'est un principe général du mouvement des fluides élastiques, que, de quelque façon que l'ébranlement s'étende ou se subdivise, la

---

d'une tranche à une autre, est indépendante de l'intensité des vibrations. C'est pour cela qu'un son faible parcourt l'air avec la même vitesse qu'un son fort, et que la lumière la moins intense se propage avec la même rapidité que la lumière la plus vive. Quand on parle de *la vitesse de la lumière*, on entend toujours sa vitesse de propagation. Ainsi quand on dit que la lumière parcourt ~~sept~~ 70 mille lieues par seconde, cela ne signifie pas, dans le système des ondulations, que telle est la vitesse absolue des molécules éthérées, mais que le mouvement imprimé à l'éther n'emploie qu'une seconde à passer dans une tranche éloignée de sept mille lieues de la première.

somme totale des forces vives reste constante. Et voilà principalement pourquoi la force vive doit être considérée comme la mesure de la lumière, dont la quantité totale reste toujours, à très-peu près la même, tant qu'elle ne traverse du moins que des milieux bien transparens. [1]

Pour nous faire une idée nette de la manière dont les oscillations d'un petit corps solide font naître des ondulations dans un fluide élastique, nous n'avons eu besoin que de considérer une oscillation complète du plan solide, qui produit une ondulation entière. Si, au lieu de nous arrêter à cette première oscillation complète, nous attendons que le plan solide ait exécuté un grand nombre d'autres oscillations, alors, au lieu d'une seule onde, le fluide en contiendra un nombre égal à celui des oscillations complètes : ces ondes se suivront régulièrement et sans interruption, si les oscillations de la particule vibrante se sont elles-mêmes succédées avec régularité. Cette suite régulière et non interrompue d'ondes lumineuses est ce que j'appelle un *système d'ondes*.

Il est naturel de supposer, à cause de la prodigieuse rapidité des vibrations lumineuses, que les particules éclairantes peuvent exécuter un très-grand nombre d'oscillations régulières dans chacune des diverses circonstances mécaniques où elles se trouvent pendant la combustion ou l'incandescence du corps lumineux, quoique ces circonstances variables se succèdent sans doute avec une promptitude extrême ; car la millionième partie d'une seconde suffit à la production de 545 mille ondulations de lumière jaune, par exemple ; ainsi les perturbations mécaniques qui dérangent la succession régulière des vibra-

545 mi

[1] Les corps noirs, et même les surfaces métalliques les plus brillantes, ne réfléchissent pas à beaucoup près la totalité de la lumière qui tombe sur leur surface : les corps imparfaitement transparens, et même les plus diaphanes, quand ils sont assez épais, absorbent aussi (pour me servir de l'expression usitée) une quantité notable de la lumière incidente ; mais il n'en faut pas conclure que le principe de la conservation des forces vives n'est plus applicable à ces phénomènes ; il résulte au contraire de l'idée la plus probable qu'on puisse se faire sur la constitution mécanique des corps, que la somme des forces vives doit toujours rester la même (tant que les forces accélératrices qui tendent à ramener les molécules à leurs positions d'équilibre n'ont pas changé d'intensité) et que la quantité de forces vives qui disparaît comme lumière est reproduite en chaleur.

tions des particules éclairantes, ou même en changent la nature, se répéteraient à chaque millionième de seconde, qu'il pourrait encore s'exécuter dans les intervalles plus de 500 ~~mille~~ millions ondulations régulières et consécutives. Cette observation va nous servir bientôt à déterminer les circonstances dans lesquelles les interférences des ondes lumineuses doivent présenter des effets sensibles.

Nous avons vu que chaque onde produite par un mouvement oscillatoire, était composée de deux demi-ondulations, qui imprimaient aux molécules du fluide des vitesses absolument pareilles, quant à leur intensité, mais opposées, quant au signe ou au sens du mouvement. Supposons d'abord que deux ondes entières, marchant dans le même sens et la même direction, diffèrent d'une demi-ondulation dans leur marche; alors elles ne se superposeront que sur une moitié de leur longueur [1]; il n'y aura interférence qu'entre la seconde moitié de l'onde la plus avancée, et la première moitié de l'autre. Si ces deux demi-ondes sont d'égale intensité, comme elles apportent aux mêmes points de l'éther des impulsions directement opposées, elles se neutraliseront mutuellement, et le mouvement se trouvera détruit dans cette partie du fluide; mais il subsistera sans altération dans les deux autres demi-ondulations. Ainsi il n'y aurait que la moitié du mouvement de détruite.

Maintenant supposons que chacune de ces deux ondes, qui diffèrent dans leur marche d'une demi-ondulation, soit précédée et suivie d'un grand nombre d'autres ondes semblables; alors, au lieu de l'interférence de deux ondes isolées, nous aurons à considérer l'interférence de deux systèmes d'ondes. Je les suppose pareils, quant au nombre des ondes qu'ils contiennent et à leur intensité. Puisque, par hypothèse, ils diffèrent d'une demi-ondulation dans leur marche, les demi-ondes de l'un qui tendent à pousser les molécules de l'éther dans un sens coïncident avec les

[1] C'est ce qu'on entend ordinairement par largeur de l'onde, quand on parle des ondes qui se forment à la surface d'un liquide. Mais j'appelle ici longueur de l'onde ou longueur d'ondulation l'intervalle compris entre le premier et le dernier point ébranlé, dans le fluide, par une oscillation complète de la particule vibrante.

demi-ondes de l'autre qui tendent à les pousser en sens contraire, et elles se font équilibre ; en sorte que le mouvement se trouve détruit dans toute l'étendue des deux systèmes d'ondes, excepté les deux demi-ondes extrêmes, qui échappent à l'interférence [1]. Mais comme elles ne sont qu'une très-petite partie de ces systèmes d'ondes, on voit que la presque totalité du mouvement est anéantie.

Il est extrêmement probable que le seul choc d'une demi-ondulation lumineuse, ou même d'une ondulation entière ne suffit pas pour ébranler les particules du nerf optique, comme une seule onde sonore ne suffit pas pour mettre en vibration les corps qui peuvent vibrer à son unisson. C'est la succession de ces ondes, qui, par l'addition de leurs petits effets partiels, fait enfin osciller le corps sonore d'une manière sensible ; de même que la succession régulière de ces peu considérables finit par mettre en branle la cloche la plus pesante. En appliquant à la vision cette idée mécanique, la plus naturelle et la plus conforme à toutes les analogies, on conçoit que les deux demi-ondes restantes, dont nous venons de parler, ne peuvent affecter la rétine d'une manière sensible, et que la réunion des deux systèmes d'ondes doit produire alors l'effet d'une obscurité complète.

Si l'on retarde d'une demi-ondulation celui des deux systèmes d'ondes qui se trouve déjà en arrière de cette quantité, la différence de marche étant d'une ondulation entière, la coïncidence entre les mouvemens des deux groupes d'ondes se trouve rétablie, et les vitesses d'oscillation s'ajoutent dans tous les points où ils se superposent. L'intensité de la lumière est alors à son maximum.

---

[1] Il est clair que ce raisonnement n'est applicable qu'à des systèmes composés d'ondes de même longueur ; car si les ondes de l'un étaient plus longues que celles de l'autre, quelque petite que fût d'ailleurs la différence, il arriverait que la position relative des ondes ne serait pas la même dans toute l'étendue des deux groupes, et que, tandis que les premières ondes se contrarieraient presque complétement, les ondes suivantes ne seraient plus en discordance complète, et finiraient même par se trouver d'accord un peu plus loin ; d'où résulterait une succession de vibrations faibles et fortes analogues aux battemens que fait entendre la consonnance de deux notes peu différentes ; mais ces alternatives de lumière faible et forte se succédant avec une rapidité prodigieuse ne produiraient sur l'œil qu'une sensation continue.

Si l'on retarde encore d'une demi-ondulation le même système d'ondes, la différence de marche étant d'une ondulation et demie, on voit que la superposition a lieu entre les demi-ondes des deux systèmes qui apportent des mouvemens contraires, comme dans le premier cas, et qu'en conséquence toutes les ondes dont ils se composent doivent se neutraliser mutuellement, excepté les trois demi-ondes de chaque extrémité, qui échappent à l'interférence. Ainsi la presque totalité du mouvement est encore détruite, et la réunion des deux faisceaux de lumière doit produire l'obscurité, comme dans le premier cas.

En continuant d'augmenter successivement, et d'une demi-ondulation chaque fois, la différence de marche des deux systèmes d'ondes, on aura alternativement l'obscurité complète, [1] et la lumière portée à son maximum, selon que la différence de marche sera un nombre impair ou un nombre pair de demi-ondulations. Telles sont les conséquences du principe de l'interférence des ondes, qui s'accordent parfaitement, comme on voit, avec la loi de l'influence mutuelle des rayons lumineux donnée par l'expérience; car l'énoncé devient absolument le même, en appelant *longueur d'ondulation* la différence de chemin parcourue que nous avions représentée par *d*. Ainsi, en admettant, comme tout porte à le croire, que la lumière consiste dans les vibrations d'un fluide subtil, la période *d*, après laquelle les mêmes effets d'interférence se répètent, sera la longueur d'ondulation.

On a vu, d'après le tableau que nous avons donné plus haut pour les sept principales espèces de rayons colorés, que cette période *d*, ou la longueur d'ondulation, varie

---

[1] Nous supposons toujours que les deux systèmes d'ondes ont la même intensité; si les oscillations de l'un étaient moins énergiques que celles de l'autre, elles ne pourraient plus les détruire entièrement. Les vitesses d'oscillation de l'un devraient encore se retrancher de celles de l'autre, puisqu'elles poussent les molécules de l'éther en sens contraires; mais les restes ne seraient plus nuls, et donneraient seulement des vitesses résultantes plus petites que celles du faisceau lumineux le plus intense. Ainsi il y aurait encore dans ce cas diminution de lumière par l'addition du second faisceau lumineux; mais cette diminution serait d'autant moins sensible qu'il serait plus faible relativement à l'autre.

beaucoup d'une couleur à l'autre, et que, pour les rayons rouges extrêmes, par exemple, elle est une fois et demie celle des rayons violets situés à l'autre extrémité du spectre solaire.

On conçoit que le nombre des ondulations diverses ne se borne pas aux sept principales indiquées dans ce tableau, et qu'il doit y en avoir une foule d'autres entre elles, et au delà des rayons rouges comme des rayons violets; car les particules pondérables dont les oscillations les produisent, doivent être soumises à des forces infiniment variées dans la combustion ou l'incandescence des corps qui mettent l'éther en vibration : or, c'est de l'énergie de ces forces que dépend la durée de chaque oscillation, et en conséquence la longueur des ondulations qu'elle fait naître.

Toutes les ondulations comprises entre les longueurs extrêmes 0,000 ^{mm} 423 et 0,000 ^{mm} 620, sont visibles, c'est-à-dire capables de faire vibrer le nerf optique; les autres ne deviennent sensibles que par leur chaleur ou les effets chimiques qu'elles déterminent.

Nous venons de remarquer que lorsque deux systèmes d'ondes diffèrent dans leur marche d'une demi-ondulation, deux demi-ondes échappent à l'interférence; qu'il y en a six, ou trois ondes, lorsque la différence de marche est de trois demi-ondulations, etc.; c'est-à-dire qu'en général, le nombre des ondes qui échappent à l'interférence, est égal au nombre de demi-ondulations qui séparent les points correspondans des deux systèmes d'ondes. Tant que ce nombre est très-petit par rapport à celui des ondes que contient chaque système, la presque totalité du mouvement étant détruite, il doit en résulter de l'obscurité, comme dans le premier cas de discordance complète. Mais on conçoit qu'en augmentant toujours la différence de marche, les ondulations soustraites à l'interférence deviendront une portion notable de chaque groupe d'ondes, et qu'enfin cette différence peut même être telle que les deux groupes d'ondes soient entièrement séparés, auquel cas les phénomènes de l'influence mutuelle des rayons lumineux cesseront tout-à-fait d'avoir lieu. Si, par exemple, les groupes d'ondes n'en contenaient généralement que mille,

une différence de marche d'un millimètre serait plus que suffisante pour empêcher les effets d'interférence de toutes les espèces de rayons lumineux.

Mais une autre cause s'oppose beaucoup plutôt à ce qu'on aperçoive les effets de l'influence mutuelle des systèmes d'ondes dont la différence de marche est un peu grande, c'est l'impossibilité de rendre la lumière suffisamment homogène ; car la lumière la mieux simplifiée se compose encore d'une infinité de rayons hétérogènes qui n'ont pas exactement la même longueur d'ondulation ; et quelque légère que soit cette différence, quand elle est répétée un assez grand nombre de fois, elle produit nécessairement, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, une opposition entre les modes d'interférence des divers rayons, qui compense alors l'affaiblissement des uns par le renforcement des autres. Voilà sans doute la principale raison pour laquelle les effets de l'influence mutuelle des rayons lumineux deviennent insensibles, lorsque leur différence de marche est trop considérable, et surpasse seulement 50 ou 60 fois la longueur d'ondulation.

Nous avons encore énoncé, comme une des conditions nécessaires à l'apparition des phénomènes d'interférence, que les rayons qui se réunissent soient partis d'une source commune : il est aisé de s'en rendre raison à l'aide de la théorie que nous venons d'exposer.

Tout système d'ondes qui en rencontre un autre, exerce toujours sur lui la même influence quand leurs positions relatives sont les mêmes, soit qu'ils émanent d'une source commune ou de sources différentes ; car il est clair que les raisonnemens par lesquels nous avons expliqué leur influence mutuelle, sont également applicables aux deux cas. Mais il ne suffit pas que cette influence existe pour qu'elle soit sensible à nos yeux, il faut encore que ses effets soient permanens. Or, c'est ce qui ne peut avoir lieu lorsque les deux systèmes d'ondes qui interfèrent émanent de sources différentes. En effet, ainsi que nous l'avons déjà remarqué, les particules des corps éclairans, dont les vibrations ébranlent l'éther et produisent la lumière, doivent éprouver de très-fréquentes perturbations dans leurs oscillations, en raison des changemens rapides qui s'opèrent autour d'elles, ce qui peut

très-bien se concilier néanmoins, comme on l'a vu, avec l'émission régulière d'un grand nombre d'ondulations dans chacune des séries séparées par ces perturbations. Cela posé, on ne peut admettre que ces perturbations s'opèrent simultanément et de la même manière dans des particules séparées et indépendantes; en sorte qu'il arrivera, par exemple, que les oscillations de l'une seront retardées d'une demi-oscillation complète, tandis que celles de l'autre se continueront sans interruption, ou seront retardées d'une oscillation entière, ce qui changera du tout au tout les effets de l'interférence des deux systèmes d'ondes qu'elles produisent, puisque s'il y avait accord parfait entre leurs mouvemens, dans le premier cas, il y aura discordance complète dans le second. Or ces effets opposés se succédant avec une rapidité extrême, ne produiront sur l'œil qu'une sensation continue, qui sera moyenne entre les sensations plus ou moins vives qu'ils excitent, et restera constante, quelle que soit la différence des chemins parcourus.

Il n'en est pas de même lorsque les deux faisceaux lumineux émanent d'une source commune. Alors les deux systèmes d'ondes, qui sont partis d'un même centre de vibration, éprouvant ces perturbations de la même manière et au même instant, n'en reçoivent aucun changement dans leurs positions relatives; en sorte que s'ils discordaient complétement d'abord, ils continueront à se trouver en discordance complète; et si leurs mouvemens s'accordaient, le même accord subsistera toujours, tant que le centre de vibration enverra de la lumière. Ainsi, dans ce cas, les effets seront constans, et deviendront perceptibles. C'est un principe général qui s'applique à tous les effets produits par les combinaisons des ondes lumineuses : ils ne peuvent être sensibles que lorsqu'ils sont permanens.

Jusqu'à présent nous avons supposé que les deux systèmes d'ondes marchaient suivant la même direction, et qu'en conséquence leurs mouvemens oscillatoires s'exécutaient aussi suivant une direction commune, soit dans le même sens, soit en sens opposé : c'est le cas le plus simple d'interférence, et le seul dans lequel il puisse y avoir destruction totale d'un mouvement par un autre;

car il faut pour cela, non-seulement que les deux forces soient égales et en sens contraires, mais encore qu'elles agissent suivant la même ligne droite, c'est-à-dire, en un mot, qu'elles soient directement opposées.

Le phénomène des anneaux colorés, et celui des couleurs que la lumière polarisée développe dans les lames cristallisées, présentent un cas particulier d'interférence où les ondes des deux systèmes sont parallèles. Mais dans les phénomènes de la diffraction, ou l'expérience des deux miroirs dont nous avons parlé précédemment, les rayons qui interfèrent font toujours entre eux des angles sensibles, quoique très-petits. Alors les impulsions apportées dans les mêmes points de l'éther par les deux systèmes d'ondes, se croisent aussi sous des angles sensibles; mais à cause de la petitesse de ces angles, la résultante des deux impulsions est presque exactement égale à leur somme, lorsque les impulsions agissent dans le même sens, et à leur différence, lorsqu'elles agissent en sens contraires. Ainsi, dans les points d'accord ou de discordance, l'intensité de la lumière sera la même que si les deux faisceaux lumineux avaient suivi la même direction, ou du moins l'œil le plus exercé ne pourra pas y apercevoir de différence. Mais si, relativement aux intensités, le cas d'interférence dont nous nous occupons ressemble à celui que nous avons considéré d'abord, sous d'autres rapports, il en diffère beaucoup, surtout par l'aspect qu'il présente et par les circonstances nécessaires à son apparition.

Considérons, pour fixer les idées, le cas où des rayons divergens qui émanent d'un même point lumineux sont réfléchis sur deux miroirs légèrement inclinés entre eux, de manière à produire deux faisceaux qui se rencontrent sous un angle sensible; alors les deux systèmes d'ondes lumineuses réfléchies par ces miroirs se croisent sous le même angle, et il résulte de cette légère obliquité que, si une demi-onde du premier système coïncide parfaitement en un point avec une demi-onde du second qui pousse le fluide dans le même sens, elle s'en sépare à droite et à gauche de ce point d'intersection, et coïncide un peu plus loin, d'un côté, avec la demi-ondulation de mouvement contraire qui précède celle-ci, et de

l'autre avec celle qui la suit, puis s'en sépare encore, et à une distance double de la première, coïncide de nouveau avec deux demi-ondulations, dont les impulsions agissent dans le même sens que la sienne; d'où résulte, sur la surface de cette onde, une série de lignes également espacées, où son mouvement est alternativement détruit et renforcé par les ondes de l'autre faisceau. Ainsi, en recevant cette onde lumineuse sur un carton blanc, on doit y apercevoir une suite de bandes obscures et brillantes, si la lumière est sensiblement homogène, ou de franges colorées de teintes diverses, si l'on se sert de lumière blanche.

La figure 1 rendra ce que nous venons de dire plus facile à comprendre : elle représente une section des deux miroirs et des ondes réfléchies, faite par un plan mené du point lumineux perpendiculairement à ces miroirs projetés en ED et DF. Le point lumineux est en S, et A et B représentent les positions géométriques de ses deux images, qu'on détermine en abaissant, du point S sur les deux miroirs ED et DF, les perpendiculaires SA et SB, et prenant PA égal à SP, et QB égal à SQ; en effet, c'est vers A et B, ainsi déterminés, que convergent les rayons réfléchis sur le premier et le second miroir, d'après la loi connue de la réflexion. Ainsi, pour avoir la direction du rayon réfléchi en un point G quelconque du miroir DF, par exemple, il suffit de mener une droite par B et G, et cette ligne prolongée sera le rayon réfléchi. Or il est à remarquer que, d'après la construction qui nous a donné la position du point B, les distances BG et SG sont égales, et qu'ainsi le chemin total parcouru par le rayon réfléchi parti du point S, et qui arrive en *b*, est absolument le même que s'il était parti du point B. Cette conséquence géométrique s'appliquant à tous les autres rayons réfléchis par le même miroir, on voit qu'ils devront arriver en même temps sur les divers points de la circonférence *n'bm*, décrite du point B, comme centre, avec un rayon égal à B*b*; cette circonférence représentera donc la surface de l'onde réfléchie [1] arrivée en B, ou,

[1] J'appelle *surface de l'onde* la surface dont tous les points sont toujours ébranlés de la même manière au même instant. Si on la considère,

plus exactement, l'intersection de cette surface avec le plan de la figure. Les ondes réfléchies par le miroir ED auront pareillement leur centre en A.

Pour figurer les deux systèmes d'ondes réfléchies, on a décrit des points A et B, comme centres, des séries d'arcs également espacés, et séparés les uns des autres par un intervalle qu'on suppose égal à la longueur d'une demi-ondulation. Afin de distinguer les mouvemens en sens contraires, on a tracé en lignes pleines tous les arcs de cercles sur lesquels les molécules éthérées sont supplées animées du maximum de vitesse en avant, à l'instant que l'on considère, et l'on a ponctué ceux sur lesquels les molécules éthérées ont le maximum de vitesse en arrière. Il en résulte que les intersections des arcs de cercle ponctués avec ceux qui sont tracés en lignes pleines, sont les points de discordance complète, et par conséquent les milieux des bandes obscures; et, au contraire, les intersections des arcs semblables donnent les points d'accord parfait, ou les milieux des bandes brillantes. On a joint par des lignes ponctuées *br*, *b'r'*, *b'r'*, etc., les intersections correspondantes des arcs de même espèce, et, par des lignes pleines, *no*, *no*, *n'o'*, *n'o'*, etc., les intersections correspondantes des arcs d'espèces contraires : celles-ci représentent les positions successives, ou les trajectoires des milieux des bandes obscures, et celles-là, les trajectoires des milieux des bandes brillantes.

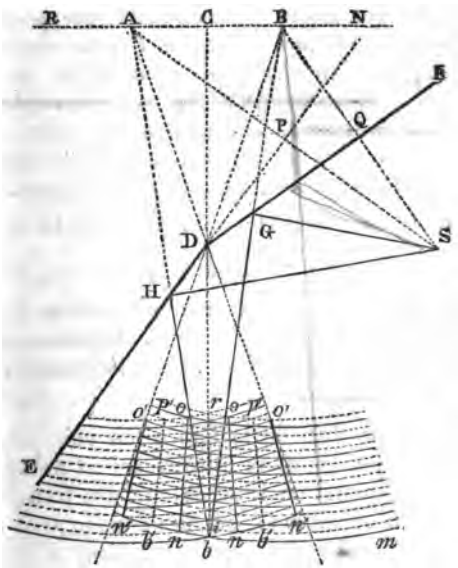
On a été obligé d'amplifier prodigieusement, dans cette figure, la longueur réelle des ondes lumineuses, et d'exagérer l'inclinaison respective des deux miroirs. Ainsi il ne faut pas y chercher une image exacte des choses, mais seulement un moyen de se représenter le jeu des interférences dans les ondes qui se coupent sous un angle sensible.

Il est aisé de voir, par des considérations géométriques très-simples, que la largeur de ces franges est en raison inverse de la grandeur de l'angle que font entre eux les

---

par exemple, au commencement, au milieu ou à la fin de l'onde, ce sera celle où le mouvement oscillatoire est nul; et si on la prend au milieu de la première ou de la seconde moitié de l'onde, ce sera la surface sur toute l'étendue de laquelle les vitesses absolues des molécules éthérées atteignent leur maximum.

deux faisceaux qui interfèrent, et que l'intervalle compris entre les milieux de deux bandes obscures ou de deux bandes brillantes consécutives, est égal à la longueur d'ondulation divisée par le sinus de l'angle sous lequel se croisent les rayons.



En effet, le triangle *bni* (fig. 1), formé par la ligne droite *bi* et par les deux arcs de cercle *ni* et *nb*, peut être considéré comme rectiligne et isocèle à cause de la petitesse de ces arcs, et le sinus de l'angle *bni*, vu la petitesse de cet angle, est sensiblement égal à $\frac{ib}{bn}$; donc *bn* est égal à *ib* divisé par ce sinus. Mais l'angle *bni* a ses côtés perpendiculaires à ceux de l'angle A*b*B, puisque *bn* est perpendiculaire sur A*b* et *ni* sur B*b*; donc ces deux angles sont égaux, et l'on peut substituer l'un à l'autre; ainsi en représentant par *i* l'angle A*b*B sous lequel se croisent les rayons réfléchis, on a : $bn = \frac{ib}{\sin i}$; donc *nn*, qui est double de *bn*, sera égal à $\frac{2\,ib}{\sin i}$. Mais *nn* est la distance entre les milieux de deux bandes obscures

consécutives, et par conséquent est ce que nous avons appelé la largeur d'une frange; *ib* étant la longueur d'une demi-ondulation, d'après la construction de la figure, 2 *ib* est la longueur d'une ondulation entière; donc la largeur d'une frange est effectivement égale à la longueur d'ondulation divisée par le sinus de l'angle que font entre eux les rayons réfléchis, qui est en même temps l'angle sous lequel on verrait l'intervalle AB compris entre les deux images du point lumineux, en plaçant son œil en *b*, ~~ou l'angle PDF, qui mesure l'inclinaison d'un miroir sur l'autre.~~ On trouve une autre formule équivalente à celle-ci en remarquant que les deux triangles *bni* et A*b*B sont semblables, ce qui donne la proportion : $bn : bi :: Ab : AB$; d'où l'on tire, $bn = \frac{bi \times Ab}{AB}$, ou, $2bn = \frac{2bi \times Ab}{AB}$; c'est-à-dire que la largeur d'une frange est égale à la longueur d'ondulation multipliée par la distance des images A et B au plan dans lequel on mesure les franges, et divisée par l'intervalle compris entre ces deux images.

La seule inspection de la figure fait voir pourquoi il est nécessaire que les deux miroirs soient presque dans le même plan, quand on veut obtenir des franges d'une largeur un peu sensible; c'est que dans le petit triangle *bni*, le côté *bi*, qui représente la longueur d'une demi-ondulation, n'étant guère que le quart d'un millième de millimètre pour les rayons jaunes, par exemple, le côté *bn*, qui mesure la demi-largeur d'une frange, ne peut devenir sensible qu'autant que *bn* est très-peu incliné sur *in*, parce qu'alors leur point d'intersection s'éloigne de *ib*; or l'inclinaison de *bn* sur *in* est ~~précisément~~ la même que celle du miroir DF sur le prolongement DP du miroir DE, quand Db = DS.

Si A et B, au lieu d'être les images du point lumineux, représentaient les projections de deux fentes très-fines pratiquées dans un écran RN, et au travers desquelles passeraient les rayons qu'enverrait un point éclairant placé au delà de cet écran sur le prolongement de la ligne-milieu *b*DC, les deux chemins parcourus depuis ce point jusqu'aux fentes A et B étant égaux entre eux, il

suffirait de compter les chemins parcourus par les rayons, à partir de A et B, pour avoir leurs différences de marche; et l'on voit qu'alors les calculs que nous venons de faire sur la largeur des franges produites par deux miroirs, pourraient encore s'appliquer à ce cas, du moins tant que chaque fente serait assez étroite pour être considérée comme un centre unique d'ondulation, relativement aux rayons infléchis qu'elle envoie. On peut donc dire que la largeur des franges produites par deux fentes très-fines, est égale à la longueur d'ondulation multipliée par l'intervalle entre les deux fentes, et divisée par la distance de l'écran au fil du micromètre qui sert à mesurer les franges.

Cette formule est encore applicable aux bandes obscures et brillantes qu'on observe dans l'ombre d'un corps étroit (en substituant la largeur de ce corps à l'intervalle qui sépare les deux fentes), tant que ces bandes sont assez éloignées des bords de l'ombre; car lorsqu'elles s'en rapprochent beaucoup, la théorie fait voir et l'expérience démontre que cette formule ne représente plus le phénomène avec une approximation suffisante; c'est qu'elle n'est parfaitement rigoureuse en général ni pour les franges qui subdivisent les ombres étroites, ni pour celles de deux fentes, mais seulement pour les franges produites par les deux miroirs, qui présentent le cas le plus simple de l'interférence des rayons légèrement inclinés entre eux. Pour déduire rigoureusement de la théorie la position des bandes obscures et brillantes dans les deux autres cas, il ne s'agit plus seulement de calculer les effets de deux systèmes d'ondes, mais d'une infinité de groupes pareils, d'après un principe que nous expliquerons bientôt, en exposant la théorie générale de la diffraction.

Pour achever de rendre raison des conditions nécessaires à la formation des franges, il me reste à faire voir pourquoi l'on est obligé d'employer un point lumineux dans les expériences de diffraction, au lieu d'un objet éclairant d'une grande dimension. Reprenons le cas des franges intérieures de l'ombre d'un corps étroit; il sera facile d'appliquer des raisonnemens analogues à tous les autres phénomènes de diffraction.

Le milieu de la bande centrale, qui est toujours formé

par l'arrivée simultanée des rayons partis en même temps du point lumineux, doit se trouver sur le plan mené par ce point et la ligne-milieu du corps étroit, puisque tout étant symétrique de part et d'autre de ce plan, les rayons qui s'y réunissent ont parcouru des chemins égaux de chaque côté, et doivent en conséquence y arriver en même temps, à moins qu'ils n'eussent traversé des milieux différens, ce que nous ne supposons pas ici. La position de la bande centrale étant déterminée, celles des autres le sont aussi. Or on conçoit que si le point lumineux changeait un peu de place, se portait vers la droite, par exemple, le plan dont nous venons de parler s'inclinerait vers la gauche, et entraînerait avec lui toutes les franges qui accompagnent la bande centrale. Au lieu de supposer un dérangement dans le point éclairant, supposons qu'il ait des dimensions très-sensibles; alors les divers points lumineux dont il sera composé produiront chacun un groupe de franges, et les positions de ces groupes différeront d'autant plus que ses points seront plus éloignés les uns des autres; et il arrivera, s'ils le sont assez, c'est-à-dire si le point éclairant est assez large, que les franges des différens groupes, en empiétant les unes sur les autres, s'effaceront mutuellement. Voilà pourquoi, dans les expériences d'interférence où les rayons se croisent sous des angles sensibles, comme dans tous les phénomènes de diffraction, il faut employer un point lumineux très-fin pour apercevoir les effets de leur influence mutuelle; et ce point doit l'être d'autant plus que les rayons se croisent sous un angle plus grand.

Quelque petit que soit le point lumineux, il est toujours composé, dans la réalité, d'une infinité de centres d'ondulations, et c'est de chacun de ces centres qu'il faut entendre ce que nous avons dit jusqu'à présent du point éclairant. Mais tant qu'ils sont très-peu distans les uns des autres, relativement à la largeur des franges, on conçoit que les divers groupes de franges qu'ils produisent, au lieu de se mêler d'une manière confuse, se superposent presque exactement, et loin de s'effacer les uns les autres, se renforcent mutuellement.

Lorsque les deux systèmes d'ondes qui interfèrent sont parallèles, l'intervalle qui sépare leurs points correspon-

dans doit rester le même sur une grande partie de *la surface des ondes*, c'est-à-dire, en d'autres termes, que les franges deviennent d'une largeur presque indéfinie [1] et qu'en conséquence un déplacement assez considérable du centre d'ondulation n'apporte pas de changement sensible dans le degré d'accord ou de discordance de leurs vibrations. Voilà pourquoi il n'est plus nécessaire, dans ce cas, d'employer un objet éclairant si petit pour apercevoir les effets de leur influence mutuelle.

On doit maintenant concevoir pourquoi les rayons lumineux, quoique exerçant toujours une certaine influence les uns sur les autres, la montrent si rarement, et dans des cas si particuliers; c'est que, pour la rendre sensible, il est nécessaire, 1° que les rayons qui interfèrent soient partis d'une source commune; 2° qu'ils ne diffèrent dans leur marche que d'un nombre d'ondulations assez limité, même lorsqu'on emploie la lumière la plus simplifiée; 3° qu'ils ne se croisent pas sous un trop grand angle, parce que les franges deviendraient si étroites qu'elles échapperaient à la plus forte loupe; 4° que tant que ces rayons ne sont pas parallèles, et forment entre eux un angle sensible, l'objet éclairant ait de très-petites dimensions, et qu'il soit d'autant plus fin que cet angle est plus considérable.

J'ai cru devoir exposer avec quelque détail la théorie des interférences, à cause de ses nombreuses applications au calcul des lois les plus intéressantes de l'optique. Peut-être trouvera-t-on, au premier abord, les considérations qui l'établissent un peu délicates et difficiles à saisir, malgré les développemens dans lesquels je suis entré; mais, en y réfléchissant quelque temps, on verra que rien n'est plus simple au fond, et l'on parviendra aisément à s'en rendre les applications familières.

Pour achever d'établir les bases sur lesquelles repose

---

[1] Si les anneaux colorés, qui sont produits par l'interférence de deux systèmes d'ondes sensiblement parallèles, présentent comme les franges, et souvent dans un espace assez étroit, des alternatives de bandes obscures et brillantes, cela tient uniquement à ce que la lame d'air comprise entre les deux verres en contact n'a pas partout la même épaisseur, ce qui fait varier la différence de marche des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air, dont l'interférence mutuelle produit les anneaux obscurs et brillans.

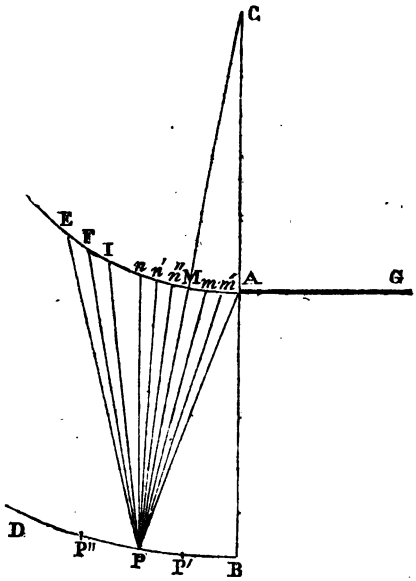
la théorie générale de la diffraction, il me reste à parler du principe de Huyghens, qui me paraît une conséquence rigoureuse du système des ondulations.

Ce principe peut s'énoncer ainsi : *Les vibrations d'une onde lumineuse, dans chacun de ses points, peuvent être regardées comme la résultante des mouvemens élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans l'une quelconque de ses positions antérieures.*

C'est une conséquence du principe de la coexistence des petits mouvemens, que les vibrations produites en un point quelconque d'un fluide élastique, par plusieurs ébranlemens, sont égales à la résultante *statique* de toutes les vitesses envoyées au même instant dans ce point, par ces différens centres d'ondulations, quels que soient leur nombre, leurs positions respectives, la nature et les époques diverses des ébranlemens. Ce principe, étant général, doit s'appliquer à tous les cas particuliers. Je supposerai que tous ces ébranlemens, en nombre infini, sont de même espèce, ont lieu simultanément, sont contigus et placés sur un même plan ou sur une même surface sphérique. Je ferai encore une hypothèse relativement à la nature de ces ébranlemens; je supposerai que les vitesses imprimées aux molécules sont toutes dirigées dans le même sens, perpendiculairement à la surface sphérique, et sont en outre proportionnelles aux condensations, et dans un rapport tel que les molécules ne puissent pas avoir de mouvement rétrograde. J'aurai ainsi reconstitué une onde dérivée par l'ensemble de ces ébranlemens partiels. Il est donc vrai de dire que les vibrations d'une onde lumineuse, dans chacun de ses points, peuvent être regardées comme la résultante de tous les mouvemens élémentaires qu'y enverraient au même instant, en agissant isolément, toutes les parties de cette onde considérée dans l'une quelconque de ses positions antérieures.

L'intensité de l'onde primitive étant uniforme, il résulte de cette considération théorique, comme de toutes les autres, que cette uniformité se conservera pendant sa marche, si aucune portion de l'onde n'est interceptée ou retardée relativement aux parties contiguës, parce

que la résultante des mouvemens élémentaires, dont je viens de parler, sera la même pour tous les points. Mais si une portion de l'onde est arrêtée par l'interposition d'un corps opaque, alors l'intensité de chaque point variera avec sa distance au bord de l'ombre, et ces variations seront surtout sensibles dans le voisinage des rayons tangens.



Soit C (fig. 2) le point lumineux, AG l'écran, AME l'onde arrivée en A et interceptée en partie par le corps opaque. Je la suppose divisée en une infinité de petits arcs Am', $m'm$, mM, Mn, nn', $n'n''$, etc. Pour avoir son intensité au point P, dans l'une quelconque de ses positions suivantes BPD, il faut chercher la résultante de toutes les ondes élémentaires que chacune de ces portions de l'onde primitive y enverrait en agissant isolément.

L'impulsion qui a été communiquée à toutes les parties de l'onde primitive, étant dirigée suivant la normale, les mouvemens qu'elles tendent à imprimer à l'éther doivent être plus intenses dans cette direction que dans toute au-

tre; et les rayons qui en émaneraient, si elles agissaient isolément, seraient d'autant plus faibles qu'ils s'écarteraient davantage de cette direction.

La recherche de la loi suivant laquelle leur intensité varierait autour de chaque centre d'ébranlement, présenterait sans doute de grandes difficultés; mais heureusement nous n'avons pas besoin de la connaître; car il est aisé de voir que les effets produits par ces rayons se détruisent presque complétement, dès qu'ils s'inclinent sensiblement sur la normale; en sorte que ceux qui influent d'une manière appréciable sur la quantité de lumière que reçoit chaque point P, peuvent être regardés comme d'égale intensité.[1]

En effet, considérons les rayons sensiblement inclinés EP, FP, IP, concourant au point P, que je suppose distant de l'onde EA d'un grand nombre d'ondulations. Prenons les deux arcs EF et FI d'une longueur telle que les différences EP-FP et FP-IP soient égales à une demi-ondulation. A cause de l'obliquité prononcée des rayons et de la petitesse d'une demi-ondulation, par rapport à leur longueur, ces deux arcs seront presque égaux, et les rayons qu'ils envoient au point P sensiblement parallèles; en sorte qu'en raison de la différence d'une demi-

---

[1] Lorsque le centre d'ébranlement a éprouvé une condensation, la force expansive tend à pousser les molécules dans toutes les directions, et si elles n'ont pas de mouvement rétrograde, cela tient uniquement à ce que leurs vitesses initiales en avant détruisent celles que l'expansion tend à leur imprimer en arrière; mais il ne s'ensuit pas que l'ébranlement ne puisse se propager que suivant la direction des vitesses initiales; car la force expansive, dans un sens perpendiculaire, par exemple, se combine avec l'impulsion primitive sans que ses effets en soient affaiblis. Il est clair que l'intensité de l'onde ainsi produite doit varier beaucoup dans les différens points de sa circonférence, non-seulement à cause de l'impulsion initiale, mais encore parce que les condensations ne sont pas assujetties à la même loi autour du centre de la partie ébranlée. Mais les variations d'intensité de l'onde dérivée doivent suivre nécessairement une loi de continuité, et peuvent par conséquent être considérées comme insensibles dans un intervalle angulaire très-petit, surtout auprès de la normale à l'onde génératrice; car les vitesses initiales des molécules rapportées à une direction quelconque étant proportionnelles aux cosinus de l'angle que cette direction fait avec la normale, ces composantes varient dans un rapport bien moindre que l'intervalle angulaire, quand il est peu considérable.

ondulation qui existe entre les rayons correspondans des deux arcs, leurs effets se détruiront mutuellement.

On peut donc supposer que tous les rayons que les diverses parties de l'onde primitive AE envoient au point P, sont d'égale intensité, puisque les seuls rayons pour lesquels cette hypothèse soit inexacte, n'ont pas d'influence sensible sur la quantité de lumière qu'il reçoit. On peut aussi, par la même raison, pour simplifier le calcul de la résultante de toutes ces ondes élémentaires, considérer leurs mouvemens vibratoires comme s'exécutant suivant une même direction, vu la petitesse des angles que les rayons font entre eux; en sorte que le problème se trouve ramené à celui-ci, dont j'ai donné la solution dans le mémoire sur la diffraction, déja cité : *Trouver la résultante d'un nombre quelconque de systèmes d'ondes lumineuses parallèles, de même longueur, dont les intensités et les positions relatives sont connues.* Les intensités sont ici proportionnelles à la longueur des petits arcs éclairans, et les positions relatives sont données par les différences de chemins parcourus.

Nous n'avons considéré, à proprement parler, que la section de l'onde faite par un plan perpendiculaire au bord de l'écran projeté en A. Envisageons-la maintenant dans toute son étendue, et concevons-la divisée en fuseaux infiniment minces, par des méridiens équidistans, perpendiculaires au plan de la figure; on pourra leur appliquer les raisonnemens que nous venons de faire pour une section de l'onde, et démontrer ainsi que les rayons d'une obliquité prononcée se détruisent mutuellement.

Ces fuseaux parallèles au bord de l'écran, étant tous infiniment étendus dans le cas dont nous nous occupons, où l'onde lumineuse n'est interceptée que d'un seul côté, l'intensité de la résultante de toutes les vibrations qu'ils envoient en P, sera la même pour chacun d'eux; car les rayons qui émanent de ces fuseaux doivent être considérés comme d'égale intensité, du moins dans la partie très-peu étendue de l'onde génératrice, qui a une influence sensible sur la lumière envoyée en P. De plus, chaque résultante élémentaire sera évidemment en arrière de la même quantité, par rapport au rayon parti du point du fuseau le plus voisin de P, c'est-à-dire du point

où ce fuseau rencontre le plan de la figure. Ainsi les intervalles entre ces résultantes élémentaires seront égaux aux différences des chemins parcourus par les rayons AP, m'P, mP, etc., compris dans le plan de la figure, et leurs intensités seront proportionnelles aux arcs Am', $m'm$,mM, etc. Pour avoir l'intensité de leur résultante générale, il faut donc faire le même calcul auquel nous avions déjà été conduits, en ne considérant que la section de l'onde par un plan perpendiculaire au bord de l'écran.[1]

On peut se faire une idée nette maintenant de la méthode qu'il faut suivre pour calculer la position et l'intensité des bandes obscures et brillantes, dans les diverses circonstances où l'on se propose de comparer la théorie à l'expérience. Lorsque l'écran s'étend indéfiniment d'un côté, ou du moins est assez large pour que les rayons qui viennent de ce côté puissent être négligés, on cherche, pour chaque point P (fig. 2), situé à la distance où l'on observe les franges, la résultante de toutes les ondes élémentaires venant seulement de la partie AMF de l'onde incidente; et, en comparant les intensités obtenues pour différens points P, P′, P″, etc., on détermine la position des points les plus sombres et les plus éclairés. On trouve de cette manière, dans le cas dont nous nous occupons maintenant, celui d'un écran indéfiniment étendu d'un côté, 1° que l'intensité de la lumière décroît rapidement en dedans de l'onde, à partir du plan tangent CAB; *d'autant plus vite que la longueur d'ondulation est plus petite*, et d'une manière continue, sans présenter ces *maxima* et *minima* qui forment les bandes obscures et brillantes; 2° qu'au dehors de l'ombre, l'intensité de la lumière, après avoir augmenté considérable-

[1] Tant que le bord de l'écran est rectiligne, il suffit, pour déterminer les positions des bandes obscures et brillantes et leurs intensités relatives, de considérer la section de l'onde faite par un plan perpendiculaire au bord de l'écran; mais lorsqu'il est courbe ou composé de lignes droites faisant entre elles des angles quelconques, il devient nécessaire d'intégrer suivant les deux sens rectangulaires, ou circulairement autour du point que l'on considère. Cette dernière méthode est plus simple dans quelques cas particuliers, comme lorsqu'il s'agit, par exemple, de calculer l'intensité de la lumière dans la projection du centre d'un écran ou d'une ouverture circulaire.

ment, jusqu'à un certain point qu'on peut appeler le *maximum* du premier ordre, décroît jusqu'à un second point, qui est le *minimum* du premier ordre, pour augmenter de nouveau jusqu'à un second *maximum*, auquel succède un *minimum* du second ordre, et ainsi de suite; 3° qu'aucun *minimum* n'est égal à zéro, comme dans les franges produites par le concours de deux faisceaux lumineux d'égale intensité, et que la différence entre les *maxima* et les *minima* diminue à mesure qu'on s'éloigne de l'ombre, ce qui explique pourquoi les franges qui bordent les ombres sont moins prononcées et moins nombreuses dans une lumière homogène, que celles qu'on obtient avec les miroirs accouplés, et présentent des couleurs beaucoup moins vives dans la lumière blanche; 4° que les intervalles compris entre ces *maxima* et ces *minima* sont inégaux, et diminuent à mesure qu'on s'éloigne de l'ombre, suivant des rapports qui ne changent pas, à quelque distance de l'écran qu'on mesure les franges; 5° que les mêmes *maxima* et *minima*, calculés à diverses distances de l'écran, sont placés sur des hyperboles d'une courbure sensible, dont les foyers sont le bord de l'écran et le point lumineux. Toutes ces conséquences de la théorie sont confirmées par l'expérience.

La formule générale donne la position des *maxima* et des *minima*, pour des distances quelconques du point lumineux à l'écran, et de l'écran au micromètre, lorsqu'on connaît la longueur d'ondulation de la lumière employée. Pour mettre la théorie à une épreuve décisive, au lieu de déterminer la longueur d'ondulation par quelques mesures de franges extérieures, et l'employer ensuite au calcul des observations du même genre, je l'ai déduite d'une expérience de diffraction d'un genre tout différent; et, après l'avoir vérifiée préalablement sur les franges produites par deux miroirs, dont elle a représenté les largeurs à moins d'un centième près, je l'ai introduite dans la formule, que j'ai ensuite comparée à 125 mesures de franges extérieures faites dans des circonstances très-dissemblables; car la distance du point rayonnant à l'écran y avait varié d'un décimètre à six mètres, et la distance entre l'écran et le micromètre, de deux millimètres à quatre mètres. Or, dans tous les cas,

les résultats du calcul se sont accordés d'une manière très-satisfaisante avec ceux des observations, comme on peut le voir par le tableau comparatif du mémoire déjà cité, pages 339 et 343 du tome XI des Annales de chimie et de physique.

Lorsque l'écran, au lieu de s'étendre indéfiniment d'un côté, est assez étroit pour que la lumière, infléchie jusqu'au milieu de son ombre, ne soit pas trop affaiblie par le décroissement rapide d'intensité que produit l'obliquité des rayons, il faut tenir compte à la fois dans le calcul, de ceux qui viennent des deux côtés, et chercher, pour chaque point de l'ombre, la résultante générale de toutes les ondes élémentaires qu'y envoient les divers points des deux parties de l'onde primitive, situées à droite et à gauche de l'écran. On trouve de cette manière que l'intérieur de l'ombre doit être divisé par une série de bandes obscures et brillantes, de largeurs à peu près égales, et dont les positions diffèrent très-peu de celles qu'on déduirait de la formule approximative que nous avons déjà donnée pour les mêmes franges, lorsqu'elles sont encore séparées des bords de l'ombre par un intervalle de plusieurs largeurs de frange. Mais quand le corps opaque est assez étroit, et le micromètre assez éloigné de ce corps pour que les bandes observées soient très-voisines des bandes extérieures, alors les calculs faits par la méthode que nous venons d'exposer, indiquent, comme l'expérience, que cette formule n'est plus exacte. Ils représentent aussi, avec une fidélité remarquable, les altérations singulières qu'éprouvent souvent, dans ce cas, les franges extérieures, lorsque les autres sortent de l'ombre, et viennent en quelque sorte se mêler avec elles.

J'ai encore vérifié la théorie sur les franges produites par une ouverture étroite d'une longueur indéfinie, en cherchant, pour les différens points éclairés par le faisceau lumineux, la résultante de toutes les ondes élémentaires qui émanent de la partie de l'onde primitive comprise dans la largeur de cette ouverture, et j'ai trouvé aussi un accord satisfaisant entre le calcul et l'observation, même dans les circonstances où les franges ainsi produites présentaient les aspects les plus bizarres, et en apparence les plus irréguliers.

D'après cette manière d'envisager les problèmes de la diffraction, nous n'avons point égard, dans le calcul, au plus ou moins d'épaisseur des bords de l'écran, mais seulement à l'étendue de la partie de l'onde qui peut envoyer des rayons élémentaires aux points dont nous calculons l'intensité; et le corps opaque ne remplit ici d'autres fonctions que de supprimer une partie de l'onde. Voilà pourquoi le résultat du calcul est indépendant de la nature de ce corps, de sa masse et de l'épaisseur de ses bords. Néanmoins, si leur surface était trop grande, on ne pourrait plus considérer l'onde primitive, au moment où elle les quitte, comme n'ayant reçu aucune modification sensible, et il faudrait tenir compte, dans le calcul, des petites franges qu'aurait déjà fait naître son passage contre les parties antérieures. Mais tant qu'ils ont peu d'épaisseur, ou une courbure prononcée dans ce sens, les petites franges ainsi produites sont si étroites, qu'on peut les négliger, et regarder l'onde émergente comme ayant une intensité uniforme dans toute son étendue, au moment où elle quitte l'écran, surtout si l'on calcule les intensités de lumière à une distance un peu grande de ce corps. Il ne faut pas perdre de vue que, d'après les raisonnemens sur lesquels elles reposent, nos formules de diffraction ne sont suffisamment exactes qu'autant que cette distance est très-considérable, relativement à la longueur d'une ondulation lumineuse, ce qui permet de négliger les rayons d'une obliquité prononcée, et de considérer tous ceux qui concourent d'une manière efficace au résultat, comme étant d'égale intensité. On ne s'étonnera pas néanmoins que les mêmes formules puissent donner encore la position des franges avec assez d'exactitude, à de petites distances de l'écran (quand ses bords ne sont pas trop épais), si l'on réfléchit que la longueur moyenne des ondes lumineuses n'étant guère qu'un demi-millième de millimètre, deux ou trois millimètres sont déjà des quantités très-grandes relativement à celle-ci.

Nous venons de considérer les trois principales espèces de phénomènes que présente la diffraction, lorsque les bords de l'écran, ou de l'ouverture pratiquée dans cet écran, sont assez étendus pour que leurs extrémités n'aient

aucune influence sur la partie des franges que l'on examine ; alors il suffit que l'intégration indiquée par les formules, qui donne la résultante générale des ondes élémentaires, soit faite dans le sens perpendiculaire au bord de l'écran, pour déterminer la position des bandes obscures et brillantes, et leurs intensités relatives. Mais quand l'écran ou l'ouverture sont très-peu étendus en tous sens, il devient nécessaire d'intégrer à la fois, suivant les deux dimensions. Les résultats de ces calculs s'accordent encore parfaitement avec les observations : j'en citerai deux exemples assez curieux.

Lorsque l'écran est circulaire, le calcul conduit à ce résultat singulier, que le centre de l'ombre qu'il projette doit être aussi éclairé que si l'écran n'existait pas. C'est M. Poisson qui me fit remarquer cette conséquence de mes formules, que je n'avais pas aperçue d'abord, quoiqu'elle se déduise immédiatement de la théorie, par des considérations géométriques très-simples. M. Arago l'a vérifiée sur l'ombre d'un écran de 2 millimètres de diamètre, parfaitement arrondi autour, et fixé sur une plaque de verre à faces parallèles. Le résultat de l'expérience a confirmé le fait annoncé d'avance par la théorie. Il n'y a que le centre même de l'ombre qui jouisse de cette propriété, et la même clarté ne s'étend à une distance sensible de ce point mathématique qu'autant que l'écran est d'un très-petit diamètre, et qu'on observe son ombre à une assez grande distance ; car plus il est large, plus ce petit cercle brillant devient étroit ; et quand l'écran a seulement 1 centimètre de diamètre, on ne voit plus qu'un point lumineux, lors même qu'on en est éloigné d'un mètre, et qu'on se sert d'une forte loupe. Il faut remarquer que, si l'écran était trop grand, les raisonnemens que nous avons faits pour établir les formules ne seraient plus rigoureusement applicables aux rayons infléchis dans le milieu de son ombre, à cause de leur obliquité trop prononcée, qui ne permettrait plus de regarder les ondes élémentaires qu'ils apportent, comme égales en intensité à celles des rayons directs.

Lorsqu'on calcule, par les mêmes formules, l'intensité de la lumière au milieu de la projection d'une petite ouverture circulaire, pratiquée dans un large écran, on trouve

que le centre de cette projection doit présenter alternativement un point brillant ou obscur, selon la distance à laquelle on reçoit l'ombre, et que les *minima* doivent être tout-à-fait nuls dans une lumière homogène. Cette nouvelle conséquence des formules générales, peut se déduire de la théorie par de simples considérations géométriques. On trouve ainsi, pour les valeurs des distances successives auxquelles le centre de l'ombre devient complétement obscur :

$$b = \frac{ar^2}{2ad - r^2}, \quad b = \frac{ar^2}{4ad - r^2}, \quad b = \frac{ar^2}{8ad - r^2}, \text{ etc.}$$

r étant le rayon ou demi-diamètre de l'ouverture, a et b ses distances respectives au point lumineux et au micromètre, et d la longueur d'ondulation de la lumière employée; or, en plaçant le micromètre aux distances indiquées par ces formules, on observe qu'effectivement le centre de la projection de l'ouverture est tellement privé de lumière, qu'il paraît comme une tache d'encre au milieu de la partie éclairée, du moins pour les *minima* des trois premiers ordres indiqués par les formules que nous venons de rapporter; car ceux des ordres suivans, qui sont plus rapprochés de l'écran, ne présentent plus une tache aussi obscure, à cause du défaut d'homogénéité de la lumière employée.

Il est encore une foule d'autres phénomènes de diffraction, tels que les images multiples et colorées, réfléchies par des surfaces rayées, ou celles qu'on voit au travers d'un tissu très-fin, ainsi que les anneaux colorés produits par un assemblage irrégulier de fils très-déliés ou d'atomes légers, d'une grosseur à peu près égale, placés entre l'œil du spectateur et un objet lumineux, qui tous peuvent s'expliquer et se calculer rigoureusement au moyen de la théorie que nous venons d'exposer. Il serait trop long de les décrire ici et de faire voir comment ils en sont de nouvelles confirmations. Nous pensons d'ailleurs qu'elle est suffisamment démontrée par les faits nombreux et variés dont nous avons parlé, et nous terminerons cet extrait du mémoire sur la diffraction, par une description détaillée d'une expérience importante de M. Arago, qui fournit le moyen de mesurer les plus légères différences de pouvoir

réfringent des corps avec une précision presque indéfinie.

Nous avons vu que les franges produites par deux fentes très-fines étaient toujours placées d'une manière symétrique relativement au plan mené par le point lumineux et le milieu de l'intervalle compris entre les deux fentes, tant que les deux pinceaux de lumière qui interfèrent ont traversé le même milieu, l'air, par exemple, comme cela arrive dans la disposition ordinaire de l'appareil. Mais il n'en est plus de même lorsqu'un des faisceaux n'ayant traversé que de l'air, l'autre rencontre sur son passage un corps plus réfringent, tel qu'une lame mince de mica, ou une feuille de verre soufflé : alors les franges sont déplacées et portées du côté du faisceau qui a traversé la lame transparente; et même dès qu'elle a un peu d'épaisseur, elles sortent de l'espace éclairé et disparaissent. Cette expérience importante, qui est due à M. Arago, peut se faire également avec l'appareil des deux miroirs, en plaçant la lame mince dans le chemin d'un des faisceaux, avant ou après sa réflexion.

Voyons maintenant quelle conséquence on peut déduire de ce fait remarquable, à l'aide du principe des interférences. Le milieu de la bande centrale provient toujours, comme nous l'avons déjà observé, de l'arrivée simultanée des rayons partis en même temps du point lumineux; il faut donc, dans le cas ordinaire où ils ont traversé le même milieu, qu'ils aient parcouru des chemins exactement égaux, pour qu'ils arrivent en même temps au point de concours; mais on conçoit que s'ils traversent des milieux dans lesquels la lumière ne se propage pas avec la même vitesse, celui des deux faisceaux qui aura marché plus lentement, arrivera plus tard en ce point, qui ne pourra plus être, en conséquence, le milieu de la bande centrale. Elle doit nécessairement se rapprocher du faisceau qui a marché le plus lentement, de sorte que la moindre longueur du trajet compense le retard qu'il a éprouvé dans sa marche; et réciproquement lorsque les franges sont portées à droite ou à gauche, on doit en conclure que le faisceau du côté duquel elles se sont avancées, a été retardé dans sa marche. Ainsi la conséquence naturelle de l'expérience de M. Arago, que nous

venons de citer, est que la lumière se propage plus vite dans l'air que dans le mica ou le verre, et généralement les autres corps denses plus réfringens que l'air; résultat directement opposé à l'explication que Newton a donnée de la réfraction, en supposant les molécules lumineuses fortement attirées par les corps denses; car il en résulterait que la vitesse de la lumière est plus grande dans ces corps que dans les milieux rares.

Cette expérience fournit un moyen de comparer la vitesse de propagation de la lumière dans les différens milieux. En effet, supposons qu'on ait mesuré très-exactement, à l'aide d'un sphéromètre, l'épaisseur de la lame mince de verre qui a été placée sur le trajet d'un des faisceaux lumineux, et qu'on ait mesuré le déplacement des franges avec le micromètre; comme on sait qu'avant l'interposition de la lame, les chemins parcourus étaient égaux pour le milieu de la bande centrale, on pourra déterminer, par le calcul, combien ils diffèrent de longueur pour sa nouvelle position : cette différence sera le retard que la lumière a éprouvé dans la feuille de verre, dont l'épaisseur est connue; ainsi, en ajoutant cette épaisseur à la différence calculée, on aura le petit chemin que l'autre faisceau a parcouru dans l'air, tandis que le premier parcourait la feuille de verre; et ce chemin, comparé à l'épaisseur de la feuille de verre, donnera le rapport de la vitesse de la lumière dans l'air, à la vitesse de la lumière dans le verre.

On peut encore envisager ce problème sous un autre point de vue, avec lequel il est bon de se familiariser. La durée de chaque ondulation, comme nous l'avons vu, ne dépend point de la vitesse plus ou moins grande avec laquelle l'ébranlement se propage dans le fluide, mais seulement de la durée de l'oscillation complète qui a donné naissance à cette onde; ainsi quand les ondes lumineuses passent d'un milieu dans un autre, où elles se propagent plus lentement, chaque ondulation s'exécute toujours dans le même intervalle de temps qu'auparavant, et la plus grande densité du second milieu n'a d'autre influence que de diminuer la longueur d'ondulation, dans le même rapport que celui suivant lequel il ralentit la vitesse de la lumière; car la longueur d'ondulation est égale à l'espace que

le premier ébranlement parcourt pendant la durée de l'oscillation complète. On peut donc calculer les vitesses relatives de la lumière dans différens milieux, en comparant les longueurs d'ondulation d'une même espèce de rayons dans ces milieux. Cela posé, le centre de la bande centrale est produit par la réunion des rayons des deux faisceaux qui ont compté le même nombre d'ondulations, à partir du point lumineux, quelle que soit d'ailleurs la nature des milieux parcourus par ces rayons. Si donc la bande centrale se porte du côté du faisceau qui a traversé la lame de verre, c'est que les ondulations de la lumière sont plus courtes dans le verre que dans l'air, et qu'il est nécessaire, en conséquence, que le chemin parcouru de ce côté soit plus court, pour que le nombre des ondulations soit le même de part et d'autre. Supposons maintenant que la bande centrale se soit déplacée de vingt largeurs de franges, par exemple, c'est-à-dire de vingt fois l'intervalle compris entre les milieux de deux bandes obscures consécutives; on devra en conclure que l'interposition de la lame de verre a retardé de vingt ondulations la marche du faisceau qui l'a traversée, ou, en d'autres termes, qu'il a exécuté dans cette lame vingt ondulations de plus que l'autre faisceau dans la même épaisseur d'air, puisque chaque largeur de frange répond à une différence d'une ondulation. Si donc on connaît l'épaisseur de cette lame, et la longueur d'ondulation de la lumière qu'on a employée (qu'il est facile de déduire de la mesure des franges, par la formule que nous avons donnée), on pourra calculer le nombre d'ondulations comprises dans la même épaisseur d'air; et, en ajoutant vingt à ce nombre, on aura celui des ondulations exécutées dans l'épaisseur de la lame de verre; le rapport entre ces deux nombres donnera celui des vitesses de la lumière dans ces deux milieux. Or on le trouve égal au rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour le passage de la lumière de l'air dans le verre; ce qui est conforme à l'explication de la réfraction par la théorie des ondes, comme nous le verrons plus tard.[1]

---

[1] On peut réciproquement, par la même expérience, déterminer avec une extrême précision l'épaisseur d'une lame mince d'un corps

Le procédé que nous venons d'indiquer présente quelques difficultés, lorsqu'on veut déterminer *a priori* le pouvoir réfringent d'un corps beaucoup plus dense que l'air, tel que l'eau ou le verre, parce qu'il faut employer une lame très-mince de ces substances, pour que les franges ne sortent pas tout-à-fait du champ commun des deux faisceaux lumineux, et qu'il devient alors difficile de mesurer l'épaisseur de la lame avec l'exactitude nécessaire. On peut, à la vérité, placer sur le trajet de l'autre faisceau une plaque épaisse d'une substance transparente dont le rapport de réfraction a été déterminé très-exactement par les moyens ordinaires, ce qui permet d'employer aussi une plaque épaisse du nouveau corps. Mais alors il devient plus simple de mesurer son pouvoir réfringent par la méthode ordinaire.

Le cas où le procédé déduit de l'expérience de M. Arago a une grande supériorité sur la méthode directe, c'est celui où il s'agit de déterminer de légères différences de vitesse de la lumière dans des milieux qui la réfractent presque également; car, en allongeant le trajet que la lumière parcourt dans les deux milieux dont on compare le pouvoir réfringent, on peut augmenter presque indéfiniment l'exactitude des résultats. Pour se faire une idée du haut degré de précision qu'il est possible d'atteindre par ces mesures, il suffit de remarquer que la longueur des ondulations jaunes dans l'air étant $0^{mm},000,55$, il y en a deux millions dans une longueur d'un mètre 10 centim. : [1] or il est très-aisé d'apercevoir une différence d'un cinquième de frange, qui répond à un retard ou à une accélération d'un cinquième d'ondulation dans la marche de la lumière; et comme il y a deux

---

dont on connaît le pouvoir réfringent, en la plaçant dans le trajet d'un des deux faisceaux lumineux perpendiculairement à sa direction, et mesurant le déplacement des franges.

[1] Je prends la longueur d'ondulation des rayons jaunes, qui sont les plus brillans du spectre et dont les bandes obscures et brillantes coïncident en conséquence avec les points les moins éclairés et les plus brillans des franges produites par la lumière blanche, qu'on emploie ordinairement pour ces sortes d'expériences, tant à cause de la supériorité de son éclat que des caractères plus prononcés qu'elle donne à la bande centrale, sur laquelle il est essentiel de ne pas se méprendre.

millions de ces ondulations dans $1^m,10$, le cinquième d'une ondulation ne serait que la dix-millionième partie de cette longueur; on pourrait donc, en introduisant un gaz ou une vapeur quelconque dans un tube de cette longueur, fermé par deux glaces, estimer jusqu'aux dix-millionièmes de variation de leur pouvoir réfringent. C'est avec un appareil semblable que nous avons mesuré, M. Arago et moi, la différence de réfraction de l'air sec et de l'air saturé d'humidité à 30°, qui est si petite qu'elle échapperait à tout autre moyen d'observation; parce que le pouvoir réfringent plus grand de la vapeur d'eau est presque exactement compensé par la moindre densité de l'air humide. Mais dans la plupart des cas, le plus léger mélange d'une vapeur ou d'un gaz avec un autre, produit un déplacement considérable des franges; et si l'on avait une série d'expériences de ce genre, soigneusement faites, cet appareil pourrait devenir un instrument précieux d'analyse chimique.

Des anneaux colorés.

Les anneaux colorés que présentent deux verres pressés l'un contre l'autre, lorsqu'une des surfaces en contact est légèrement convexe, s'expliquent d'une manière bien simple par le principe des interférences : ils résultent évidemment de l'influence mutuelle des deux systèmes d'ondes réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air comprise entre ces deux verres. Mais avant d'entrer dans le détail de cette explication, il est nécessaire d'établir, sur la réflexion de la lumière, un principe dont nous allons avoir besoin.

Lorsqu'un ébranlement se propage dans un milieu d'une élasticité et d'une densité uniformes, il ne revient jamais sur ses pas; et en se communiquant à des tranches nouvelles, il laisse les tranches précédentes dans un repos absolu : c'est ainsi qu'une bille d'ivoire qui vient en frapper une autre de masse égale, lui communique tout son mouvement, et reste en repos après le choc. Il n'en est pas de même quand la seconde bille a plus ou moins de masse que la première; dans l'un ou l'autre cas, celle-ci se trouve encore en mouvement après le choc. Lorsque la seconde bille a plus de masse que la première, la nouvelle vitesse dont celle-ci est animée la porte en sens contraire de son premier mouvement, et lorsque la

seconde bille a moins de masse que la première, celle-ci continue à se mouvoir dans le même sens; ainsi les nouvelles vitesses de la première bille, après le choc, sont de signes contraires dans les deux cas. Ceci peut aider à concevoir ce qui se passe lorsqu'une onde arrive à la surface de contact de deux milieux élastiques de densités différentes : la tranche infiniment mince du premier milieu, qui touche au second, et que nous pouvons assimiler à la première bille, ne reste pas en repos après avoir mis en mouvement la tranche contiguë du second milieu, à cause de la différence de leur masse, et il y a réflexion; mais la nouvelle vitesse dont la tranche du premier milieu est animée après le choc, et qui se communique successivement aux tranches précédentes du même milieu, doit changer de signe selon que la tranche du second milieu a plus ou moins de masse que celle du premier, c'est-à-dire selon que celui-ci est moins dense ou plus dense que le second. Ce principe important, que M. Young a découvert par les considérations que nous venons d'exposer, résulte également des formules que M. Poisson a déduites d'une analyse savante et rigoureuse. Appliqué à la réflexion de la lumière il nous apprend que selon qu'une onde lumineuse est réfléchie en dedans ou en dehors du milieu le plus dense, la vitesse d'oscillation est positive ou négative. Ainsi tous les mouvemens oscillatoires correspondans seront de signes contraires dans les deux cas.

Cela posé, revenons au phénomène des anneaux colorés, et supposons, pour simplifier les raisonnemens, qu'on observe la lumière réfléchie sous l'incidence perpendiculaire, ou du moins dans une direction qui s'en écarte très-peu; considérons un des systèmes d'ondes envoyé par l'objet éclairant sur la première surface de la lame d'air, c'est-à-dire sur la seconde surface du verre supérieur; ce que nous dirons de ce système d'ondes pourra s'appliquer à tous les autres. Au moment où il arrive à la surface de séparation du verre et de l'air, il éprouve une réflexion partielle qui diminue un peu l'intensité de la lumière transmise dans la lame d'air, et fait naître en dedans du premier verre un autre système d'ondes, dont l'intensité est, comme on sait, très-inférieure à celle de la lumière transmise; en sorte que celle-ci étant fort

peu affaiblie par cette première réflexion, produit, en arrivant à la seconde surface de la lame d'air, un second système d'ondes réfléchies d'une intensité presque égale à celle des ondes qui proviennent de la première réflexion; voilà pourquoi leur interférence produit des couleurs si vives dans la lumière blanche, et des anneaux brillans et obscurs si prononcés, dans une lumière homogène. Les deux surfaces de la lame d'air étant sensiblement parallèles dans le voisinage du point de contact, où se forment les anneaux colorés, les deux systèmes d'ondes suivront la même route; mais celui qui a été réfléchi à la seconde surface, se trouvera en retard relativement à l'autre, et d'une quantité égale au double de l'épaisseur de la lame d'air, qu'il a traversée deux fois. Il faut remarquer en outre qu'il existe entre eux une autre différence, c'est que le premier a été réfléchi en *dedans* du verre, ou du milieu le plus dense, tandis que l'autre l'a été en *dehors* du verre inférieur; d'où résulte, d'après le principe établi ci-dessus, une opposition dans les mouvemens oscillatoires. Ainsi, lorsqu'en raison de la différence des chemins parcourus, les deux systèmes d'ondes devraient être d'accord, c'est-à-dire exécuter tous leurs mouvemens oscillatoires dans le même sens, nous en conclurons qu'ils sont au contraire en discordance complète; et réciproquement, lorsque la différence des chemins parcourus indiquera une discordance complète, nous en conclurons que leurs mouvemens oscillatoires s'accordent parfaitement. Cela posé, il est aisé de déterminer la position des anneaux obscurs et brillans.

Et d'abord, le point de contact, où l'épaisseur de la lame d'air est nulle, ne produisant aucune différence de marche entre les deux systèmes d'ondes, devrait établir un accord parfait entre leurs vibrations; ainsi, puisqu'en raison de l'opposition de signe, c'est le contre-pied qu'il faut prendre, leurs vibrations seront en discordance complète, et le point de contact, vu par réflexion, présentera une tache noire. A mesure qu'on s'en éloigne, l'épaisseur de la lame d'air augmente : arrêtons-nous au point où son épaisseur est égale à $\frac{1}{4}$ d'ondulation; la différence des chemins parcourus sera une demi-ondulation, qui répond

à une discordance complète, et par conséquent il y aura accord parfait entre les deux systèmes d'ondes; ce sera donc le point le plus éclairé du premier anneau brillant. Lorsque l'épaisseur de la lame d'air sera la moitié d'une ondulation, la différence des chemins parcourus étant égale à une ondulation, qui répond à l'accord parfait, il y aura discordance complète, et ce point sera le milieu d'un anneau obscur. Il est facile de voir en général, par les mêmes raisonnemens, que les points les plus noirs des anneaux obscurs répondent aux épaisseurs de la lame d'air, égales à

$$0, \quad \tfrac{1}{2}d, \quad \tfrac{3}{2}d, \quad 2d, \quad \tfrac{5}{2}d, \text{ etc.},$$

et les points les plus éclairés des anneaux brillans aux épaisseurs

$$\tfrac{1}{4}d, \quad \tfrac{3}{4}d, \quad \tfrac{5}{4}d, \quad \tfrac{7}{4}d, \quad \tfrac{9}{4}d, \quad \tfrac{11}{4}d, \text{ etc.},$$

d étant la longueur d'une ondulation lumineuse dans l'air; ou, si l'on prend pour unité le quart de cette longueur, les épaisseurs de la lame d'air répondant aux *maxima* et *minima* de lumière réfléchie seront représentées par les nombres suivans :

Anneaux obscurs..... 0, 2, 4, 6, 8, 10, etc.
Anneaux brillans..... 1, 3, 5, 7, 9, 11, etc.

On voit que cette unité, ou le quart d'une ondulation lumineuse, est précisément la longueur de ce que Newton appelle les *accès des molécules lumineuses*. Ainsi, en multipliant par quatre les mesures qu'il en a données, pour les sept principales espèces de rayons simples, on a les longueurs correspondantes de leurs ondulations. On trouve de cette manière les mêmes résultats qu'en déduisant les longueurs d'ondulation de la mesure des franges produites par deux miroirs, ou des phénomènes variés de la diffraction. Cette identité numérique, que M. Young a le premier remarquée, établit entre les anneaux colorés et la diffraction de la lumière, une relation intime, qui avait échappé jusqu'alors aux physiciens guidés par le système de l'émission, et ne pouvait être indiquée que par la théorie des ondulations.

D'après l'expérience de M. Arago sur le déplacement qu'éprouvent les franges produites par l'interférence de deux faisceaux lumineux, lorsqu'un des deux a traversé une lame mince, nous avons vu que les ondulations lumineuses étaient raccourcies dans cette lame, suivant le rapport du sinus de réfraction au sinus d'incidence, pour le passage de la lumière de l'air dans la lame. Ce principe est général, et s'étend à tous les corps réfringens, de quelque nature qu'ils soient; ainsi, par exemple, la longueur d'ondulation de la lumière dans l'~~eau~~ air est à la longueur d'ondulation dans l'~~air~~ eau, comme le sinus de l'angle d'incidence des rayons qui passent obliquement de l'air dans l'eau, est au sinus de leur angle de réfraction. Par conséquent, si l'on introduit de l'eau entre les deux verres en contact qui présentent des anneaux colorés, la lame d'air étant remplacée par une lame d'eau, dans laquelle les ondulations lumineuses deviennent plus courtes, suivant le rapport que nous venons d'énoncer, les épaisseurs de ces deux lames qui réfléchissent les mêmes anneaux, seront entre elles dans le rapport du sinus d'incidence au sinus de réfraction, pour le passage de la lumière de l'air dans l'eau. C'est précisément le résultat que Newton avait trouvé par l'observation, en comparant les diamètres des anneaux produits dans les deux cas; d'où il déduisait, par le calcul les épaisseurs correspondantes. Cette relation remarquable entre les phénomènes de la diffraction, de la réfraction et des anneaux colorés, qui ne se rattache en rien à l'hypothèse de l'émission, aurait pu être annoncée d'avance par la théorie des ondulations, d'après laquelle les sinus des angles d'incidence et de réfraction doivent être nécessairement proportionnels aux vitesses de propagation ou aux longueurs d'ondulation de la lumière dans les deux milieux, ainsi que nous le démontrerons bientôt, en expliquant les lois de la réfraction.

Après avoir rendu compte de la formation des anneaux réfléchis par l'interférence des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air, M. Young a démontré que les anneaux beaucoup plus faibles qu'on voit par transmission, résultent de l'interférence des rayons transmis directement avec ceux qui ne l'ont été qu'après deux réflexions consécutives dans la lame mince, et qu'ils

devaient être en conséquence complémentaires des anneaux réfléchis, conformément à l'expérience. Nous croyons inutile de donner cette explication, qui est semblable à la précédente; nous ferons seulement remarquer que l'extrême pâleur des anneaux transmis sous l'incidence perpendiculaire, tient à la grande différence d'intensité des deux systèmes d'ondes qui les produisent.

Nous ne traiterons pas non plus des anneaux réfléchis sous des incidences obliques, et nous nous contenterons de dire que la théorie explique pourquoi leur diamètre augmente avec l'obliquité, et que la formule très-simple à laquelle elle conduit représente les faits avec exactitude, du moins tant que les obliquités ne sont pas trop grandes; lorsque les rayons qui pénètrent dans la lame d'air sont très-inclinés, les résultats du calcul ne s'accordent plus avec les mesures de Newton. Mais il est probable que cette anomalie tient à ce que les lois ordinaires de la réfraction, d'après lesquelles la formule est calculée, éprouvent quelques modifications dans le passage très-oblique des rayons entre deux surfaces aussi rapprochées.

Nous n'avons considéré jusqu'à présent que les anneaux produits par une lumière simple; mais il est aisé d'en conclure ce qui doit avoir lieu dans la lumière blanche, par des raisonnemens analogues à ceux que nous avons déjà faits précédemment pour les franges de l'expérience des deux miroirs. On peut d'ailleurs trouver cette analyse du phénomène exposée avec le plus grand détail dans l'Optique de Newton, qui, le premier, a démontré que l'effet produit par la lumière blanche résultait toujours de la réunion des effets divers des rayons colorés dont elle se compose.

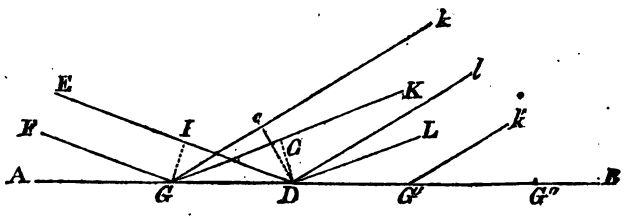
De la réflexion et de la réfraction.

Par une comparaison tirée du choc des corps élastiques, nous avons fait voir comment une partie du mouvement vibratoire était réfléchie, à la surface de contact de deux milieux de densités différentes, tandis que l'autre partie était transmise et se propageait dans le second milieu (1);

---

(1) On peut consulter à ce sujet le beau mémoire de Mr Poisson sur la réflexion des ondes à la surface de contact de deux fluides élastiques de densités différentes, où l'on trouvera une démonstration rigoureuse de ce principe général.

et nous avons expliqué ainsi la division que la lumière éprouve en rayons réfléchis et rayons transmis, quand elle arrive à la surface d'un corps transparent; mais nous n'avons pas encore donné la raison des lois auxquelles leurs directions sont soumises. C'est ce que nous allons tâcher de faire, en ramenant cette explication aux considérations les plus simples, et sacrifiant à la brièveté les développemens un peu compliqués dans lesquels il faudrait entrer pour donner à la démonstration toute la généralité et la rigueur dont elle est susceptible.



Soient ED et FG (fig. 3), deux rayons incidens, partis du même centre d'ondulation, que je suppose à une distance infinie, en sorte que ces rayons sont parallèles entre eux; soit AB la surface réfléchissante; menons par le point G la ligne droite GI, perpendiculaire aux rayons ED et FG; ce sera la direction de l'onde incidente, au moment où elle vient rencontrer en G la surface réfléchissante. D'après le principe de Huyghens, nous pouvons considérer chacun des points successivement ébranlés, G et D, par cette onde, comme étant eux-mêmes des centres d'ébranlement, qui, en agissant isolément, enverraient des rayons dans une infinité de directions et avec des intensités différentes. Il serait sans doute bien difficile de découvrir la loi des variations de leur intensité autour du point rayonnant; mais heureuse-

ment nous n'en avons pas besoin; car, quelle que soit cette loi, il est évident que les rayons élémentaires partis des points G et D, qui suivront des directions parallèles, étant absolument dans des cas semblables, devront avoir la même intensité et la même direction de mouvement oscillatoire : or, ce principe nous suffit pour juger suivant quelle direction peuvent se propager les vibrations résultantes de la réunion des rayons élémentaires. En effet considérons l'onde réfléchie à une distance infiniment grande de AB relativement à l'intervalle GD et autres intervalles du même ordre : soient GK et DL deux rayons élémentaires réfléchis, concourant vers un même point de cette onde; ils seront parallèles, à cause de la distance infinie à laquelle il est situé. Supposons l'angle KGB égal à l'angle EDA; il est clair que les vibrations apportées par les rayons GK et DL à leur point de concours, seront parfaitement d'accord. En effet, à cause de l'égalité de ces angles, si du point D on abaisse sur GK la perpendiculaire DC, les deux triangles GCD et IDG seront égaux, et par conséquent GC sera égal à ID. Or ID est la portion de chemin que le rayon incident ED a parcouru de plus que FG, pour arriver à la surface; et GC est la portion de chemin que le rayon réfléchi en G doit parcourir de plus que celui qui est réfléchi en D, pour arriver à leur point de concours; donc, lorsqu'ils y seront arrivés, ils auront parcouru en somme la même longueur de chemin, et par conséquent y vibreront d'accord.

Mais il n'en est plus ainsi quand la direction des rayons élémentaires G*k* et D*l*, que je suppose aussi concourir vers un point infiniment éloigné, fait avec la surface un angle qui n'est pas égal à EDA; car alors l'intervalle GC, compris entre le point G et le pied de la perpendiculaire DC, n'étant plus égal à ID, les chemins parcourus par les rayons, pour arriver au point de concours, ne sont plus égaux, et leurs vibrations en ce point doivent être plus ou moins discordantes : or on peut toujours prendre le point G à une distance telle du point D, que la différence entre GC et ID soit égale à une demi-ondulation; ce qui établira une discordance complète, au point de concours, entre les vibrations réfléchies suivant G*k* et D*l*; et comme elles sont d'ailleurs d'intensités égales, elles se détruiront

mutuellement; et par conséquent il n'y aura pas de lumière propagée dans cette direction.

Il est tellement vrai que le rayon élémentaire Dl est neutralisé, dans ce cas, par celui qui vient du point G, que, si l'on supprime ce dernier et les rayons qui en sont assez voisins pour contrarier aussi les vibrations du rayon Dl, on donne, ou, pour mieux dire, on rend à celui-ci la faculté de paraître. Les divers rayons élémentaires réfléchis en D peuvent diverger d'autant plus que l'étendue de la surface réfléchissante est plus rétrécie de chaque côté de ce point; car le rayon élémentaire G'k' partant d'un point G' situé à la même distance de D que le point G, contrarie aussi bien, au point de concours, les vibrations de Dl, que le rayon Gk; et la manière générale de concevoir ces destructions mutuelles des rayons élémentaires, est de considérer chaque rayon intermédiaire Dl comme détruit par la moitié (en intensité) du rayon Gk, et la moitié du rayon G'k', puis les moitiés restantes de ces rayons, par les moitiés des rayons suivans, et ainsi de suite [1].

Il est aisé de vérifier ces conséquences de la théorie, en faisant tomber, dans une chambre obscure, les rayons d'un point lumineux sur un miroir métallique, où une

---

[1] Si l'on divise ainsi la surface du miroir en une suite de parties DG', G'G'', etc., égales à GD, les rayons élémentaires réfléchis aux points G, D, G', G'', dirigés tous vers le même point de concours infiniment éloigné, et par conséquent parallèles entre eux, différeront deux à deux dans leur marche d'une demi-ondulation; ainsi, par exemple, le rayon Gk se trouvera au point de concours en avance d'une demi-ondulation sur le rayon Dl, celui-ci en avance de la même quantité sur le rayon G''k, et ainsi de suite; par la même raison, le rayon parti du milieu de GD sera en discordance complète avec le rayon parti du milieu de DG', et une pareille discordance aura également lieu entre les rayons réfléchis de tous les points correspondans des intervalles GD et DG'; de même tous les rayons réfléchis aux divers points de DG' seront en discordance complète avec ceux qui sont réfléchis aux points correspondans de G'G'', etc. : or les intervalles GD, DG', G'G'', etc. étant égaux entre eux, la quantité de rayons qu'ils réfléchissent est la même; on peut donc considérer chaque faisceau de rayons élémentaires réfléchis dans cette direction par un intervalle quelconque DG', comme détruit par la moitié (en intensité) des rayons du faisceau précédent et par la moitié du faisceau suivant. Si la surface est limitée et renferme un nombre pair de ces intervalles, les deux moitiés restantes des faisceaux extrêmes seront en discordance complète au point de concours et s'y détruiront mutuellement,

glace noircie par derrière, dont on a recouvert la surface supérieure d'un noir bien mat, à l'exception d'un espace un peu long et très-étroit, compris entre deux lignes droites qui font entre elles un angle très-aigu, de manière que la largeur de cet espace réfléchissant va continuellement en diminuant, jusqu'au point de concours de ses bords. Si l'on s'éloigne suffisamment du miroir, et qu'on reçoive sur un carton blanc la lumière réfléchie, ou qu'on l'observe directement avec une loupe, on remarquera que le faisceau réfléchi par la partie voisine du sommet de l'angle, est beaucoup plus large que celui qui vient de la partie opposée, et qu'en conséquence la divergence des rayons réfléchis est d'autant plus grande que l'espace réfléchissant est plus étroit.

Cette manière d'envisager la réflexion n'explique pas seulement pourquoi les rayons ne sont plus assujettis dans leur marche à la loi ordinaire de l'égalité des angles d'incidence et de réflexion, quand la surface est étroite ou discontinue, mais elle fournit même les moyens de calculer leurs intensités relatives dans leurs nouvelles directions. Elle a encore l'avantage de donner une idée nette et précise de ce qui constitue le poli spéculaire. Il ne faut pas considérer la surface du miroir le mieux poli, ainsi que l'a remarqué Newton, comme parfaitement unie,

---

et il n'y aura point de lumière réfléchie dans cette direction; mais si le nombre des intervalles est impair, la lumière réfléchie, suivant cette direction, sera alors la moins faible possible, les moitiés restantes des faisceaux extrêmes se trouvant en accord parfait. Il est à remarquer néanmoins que dans ce cas la lumière diffractée suivant la direction GA, sera beaucoup plus faible que celle qui a été réfléchie dans la direction GK, puisque tous les rayons partis de la surface qui se réunissent au premier point de concours ont parcouru des chemins égaux et s'ajoutent. Toutes ces conséquences de la théorie sont confirmées par l'expérience. Pour donner une idée de l'extrême rapidité avec laquelle la lumière doit diminuer à mesure que la direction GA s'éloigne de celle de la réflexion régulière, j'ajouterai que, dès qu'on peut compter seulement sur la surface du miroir cinq intervalles pareils à GD, qui donnent des différences d'une demi-ondulation entre leurs rayons extrêmes, l'intensité de la lumière diffractée suivant GA n'est plus, d'après la théorie, que le $\frac{1}{40}$ environ de celle de la lumière régulièrement réfléchie; et pour peu que le miroir ait de largeur, on sentira combien la direction GA doit peu s'éloigner de GK pour qu'il ne contienne que cinq intervalles pareils à GD, c'est-à-dire pour qu'il n'y ait que cinq demi-ondulations de différence de marche entre les rayons partis des deux extrémités du miroir.

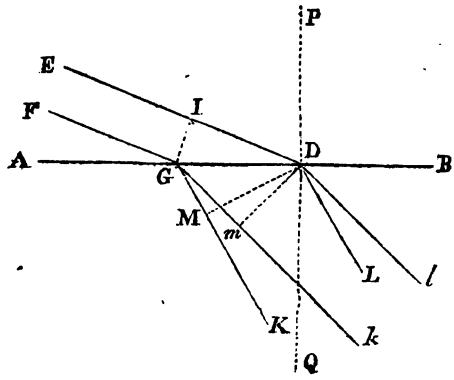
et formant un plan mathématique ; il est évident, au contraire, d'après le procédé même qu'on emploie pour la polir, qu'elle doit être hérissée d'une infinité de petites aspérités ; car la poudre fine qui sert à cet objet, ne peut que la rayer dans tous les sens, et c'est seulement l'extrême finesse de ces raies qui les rend imperceptibles. Mais quel degré de finesse doivent-elles avoir pour que la lumière soit régulièrement réfléchie ? C'est ce qu'on peut conclure aisément de l'explication que nous venons de donner de la loi ordinaire de la réflexion. En effet, si les points G et G′, fig. 3, au lieu d'être exactement situés dans le plan mathématique ADB, sont un peu au-dessus ou un peu au-dessous de ce plan, il en résultera, dans la marche des rayons G*k* et G′*k*′, une petite différence qui diminuera la discordance complète dans laquelle ils se trouvaient relativement au rayon D*l* : dans le cas particulier de l'incidence perpendiculaire, par exemple, cette différence serait le double de la saillie des points G et G′ sur le plan ADB ; si donc celle-ci était le centième de la longueur d'une onde lumineuse, la différence de marche qu'elle occasionerait serait un cinquantième d'ondulation; or une aussi petite altération de la discordance complète des rayons élémentaires ne produirait pas de lumière sensible suivant la direction D*l*, comme on le reconnaît par le calcul, au moyen des formules d'interférences. Ainsi il suffit que la saillie des aspérités, ou la profondeur des renfoncemens, soit très-petite, relativement à la longueur d'une ondulation lumineuse, pour que la surface du miroir ne réfléchisse de lumière sensible que suivant un angle égal à l'angle d'incidence ; et lorsque les plus grandes aspérités n'excèdent pas un centième d'ondulation, par exemple (qui est de 5 ou 6 millionièmes de millimètres pour les rayons jaunes), le miroir doit avoir un très-beau poli.

Ici se présente une conséquence qui mérite d'être remarquée. Puisque les longueurs d'ondulation sont différentes pour les diverses espèces de rayons colorés qui composent la lumière blanche, on conçoit qu'il pourrait y avoir tel degré de petitesse des aspérités de la surface qui donnerait déjà une réflexion assez régulière des ondulations les plus longues (celles des rayons rouges), et

disperserait encore beaucoup les rayons violets, dont la longueur d'ondulation est d'un tiers plus courte; en sorte que dans l'image régulièrement réfléchie d'un objet blanc, le rouge et l'orangé domineraient, tandis que le vert et surtout le bleu et le violet y seraient en moindre proportion, d'où résulterait une teinte roussâtre. C'est aussi ce que l'expérience confirme. Au lieu d'arrêter le travail du poli au degré convenable (ce qui serait sans doute difficile), servez-vous d'un miroir simplement douci, c'est-à-dire dont la surface a été bien dressée, et unie seulement à l'émeri fin, et inclinez ce miroir sur les rayons incidens, jusqu'à ce que vous commenciez à distinguer une image assez nette de l'objet blanc que vous regardez par réflexion; cette image vous paraîtra fauve et même d'un rouge orangé semblable à la couleur du soleil couchant, si l'objet a assez d'éclat pour que vous ne soyez pas obligé de trop incliner le miroir. La teinte de l'image est d'ailleurs la même, quelle que soit la nature du corps réfléchissant, qu'il soit d'acier, par exemple, ou de *crown-glass* un peu verdâtre. A mesure que l'obliquité du miroir augmente, l'image devient plus blanche et plus brillante; et lorsqu'il approche d'être parallèle aux rayons incidens, la réflexion est aussi régulière et presque aussi abondante que s'il avait été parfaitement poli. On voit que dans cette expérience l'obliquité du miroir produit le même effet que si l'on diminuait les aspérités de sa surface; il est facile d'en concevoir la raison; car ces aspérités n'altèrent la régularité de la réflexion qu'en raison des différences de chemins parcourus qui en résultent. Or on démontre aisément, par la géométrie, que ces différences deviennent d'autant plus petites que l'obliquité des rayons est plus grande.

Appliquons maintenant à la réfraction les considéra-

tions d'interférences qui nous ont servi à expliquer les lois de la réflexion. Soit AB, fig 4,



la surface de séparation de deux milieux dans lesquels la lumière ne se propage pas avec la même vitesse. Je supposerai encore les rayons incidens FG et ED partis d'un point infiniment éloigné et par conséquent parallèles entre eux, et je ne chercherai les effets produits par les rayons élémentaires réfractés qu'à une distance de AB infiniment grande, relativement à l'intervalle GD ou autres quantités du même ordre, afin de simplifier les raisonnemens. Par le point G, je mène GI perpendiculaire aux rayons incidens; GI sera la direction de l'onde incidente, ou, en d'autres termes, les mouvemens correspondans des ondulations des deux rayons incidens arriveront simultanément en G et en I; ainsi ID est l'espace que le rayon ED doit parcourir de plus que l'autre, pour arriver à la surface. De même, si l'on considère deux rayons élémentaires réfractés, partis des points G et D, et concourant vers un même point infiniment éloigné, suivant les directions GK et DL, et si on leur mène la perpendiculaire DM, GM sera la portion de chemin que le rayon GK doit parcourir de plus que l'autre, à partir de la surface, pour arriver au point de concours. Par conséquent les deux rayons y arriveront en même temps, si la lumière

parcourt GM dans le même intervalle de temps que ID : or il est clair qu'il faut pour cela que ces deux espaces soient dans le même rapport que les vitesses de propagation ou les longueurs d'ondulation de la lumière dans les deux milieux ; ainsi, représentant par d et d' les longueurs d'ondulation dans le premier et le second milieu, l'on devra avoir la proportion GM : DI : : d' : d. Mais si l'on prend GD pour rayon, GM sera le sinus de l'angle GDM, et ID le sinus de l'angle IGD : or IGD est égal à l'angle d'incidence IDP, et GDM à l'angle de réfraction QDL ; donc le sinus de l'angle de réfraction doit être au sinus de l'angle d'incidence comme d' est à d, pour que les deux rayons élémentaires réfractés que nous considérons, soient parfaitement d'accord au point de concours ; et cette condition se trouvant également remplie alors par tous les autres rayons élémentaires partis des différens points de la surface AB qui se réunissent au même point, toutes leurs ondulations s'y superposeront exactement, et s'ajouteront les unes aux autres. Il n'en est plus ainsi des autres rayons élémentaires Gk et Dl, concourant aussi vers un point très-éloigné, mais dans une direction différente ; car alors Gm étant plus grand ou plus petit que GM, n'est plus parcouru dans le même intervalle de temps que ID ; d'où résulte un retard dans la marche d'un des rayons relativement à celle de l'autre : or on peut toujours prendre G à une distance telle de D, que cette différence de marche soit précisément d'une demi-ondulation ; on voit donc que pour chaque rayon élémentaire quelconque Dl, qui s'écarte de la direction DL, il y a toujours un autre rayon Gk dirigé vers le même point de concours, qui en diffère d'une demi-ondulation : or, quelle que soit la loi suivant laquelle varie l'intensité des rayons élémentaires que chacun des ébranlemens excités en G et en D enverrait dans diverses directions, en agissant isolément, il est clair que les circonstances étant absolument semblables pour les séries de vibrations qui se propagent suivant les rayons parallèles Dl et Gk, leurs intensités seront les mêmes, ainsi que les directions de leurs mouvemens oscillatoires ; et puisque ces vibrations diffèrent dans leur marche d'une demi-ondulation, leurs mouvemens se détruiront mu-

tuellement. [1] On voit donc que les vibrations lumineuses ne peuvent se manifester dans le second milieu que suivant la direction qui fait un angle de réfraction tel que son sinus soit au sinus de l'angle d'incidence comme d' est à d.

Lorsque la vitesse de propagation de la lumière reste la même, dans tous les sens, pour chaque milieu, le rapport de d à d', et par conséquent celui du sinus des angles d'incidence et de réfraction reste constant, et la lumière suit la loi connue de la réfraction ordinaire. Mais il est des substances où la vitesse de propagation varie, dans le même milieu, avec la direction des rayons, et alors ceux qui éprouvent cet effet ne sont plus réfractés de la même manière.

Le rapport que nous venons de trouver entre les sinus des angles d'incidence et de réfraction, s'accorde parfaitement, comme on voit, avec l'expérience de M. Arago, qui démontre que les longueurs d'ondulation de la lumière dans deux milieux différens sont entre elles comme les sinus d'incidence et de réfraction pour le passage de la lumière d'un des milieux dans l'autre; et ce rapport explique en même temps pourquoi les épaisseurs des lames d'air et d'eau qui réfléchissent les mêmes an-

---

[1] Ce ne sont pas seulement ces mouvemens qui se neutralisen réciproquement, mais encore les condensations et dilatations qui les accompagnent; et en effet, tout étant symétrique et égal entre les quantités de signes contraires dans le mouvement primitif, doit l'être pareillement dans les ondes élémentaires qui en dérivent, et cette égalité suffit pour que toutes les quantités de signes contraires, vitesses positives et négatives, condensations et dilatations s'annulent mutuellement, quand les quantités positives correspondent aux négatives; ou, en d'autres termes, quand il y a une différence de marche d'une demi-ondulation entre les deux systemes d'ondes qui interfèrent.

Nous remarquerons ici, comme nous l'avons fait pour la réflexion, que lorsque la surface AB n'est pas indéfinie, il part toujours des points voisins de ses extrémités des rayons élémentaires qui ne sont pas totalement détruits, a moins que dans la direct on DL, que l'on considère, les intervalles pareils à GD, qui répondent à une différence d'une demi-ondulation entre leurs rayons extrêmes, ne soient en nombre pair sur l'étendue de cette surface. Mais pour peu qu'elle soit large, la lumière diffractée qui vient des bords est beaucoup plus faible que celle qui a été réfractée régulièrement.

Nous renvoyons, pour de plus amples développemens, aux notes du mémoire sur la diffraction qui va être publiée dans le recueil des savans etrangers.

neaux colorés, sont entre elles comme les sinus d'incidence et de réfraction de la lumière qui passe de l'air dans l'eau.

En généralisant les considérations que nous venons d'employer pour expliquer la loi ordinaire de la réfraction, dans le cas particulier d'une surface continue et indéfiniment étendue, on peut, avec les mêmes formules qui représentent les phénomènes de la diffraction, déterminer les lois bien plus compliquées que suivent les rayons réfractés, lorsque la surface réfringente est étroite ou discontinue, et l'on arrive ainsi à des résultats toujours conformes à l'expérience; ce qui prouve à la fois la justesse et la généralité du principe d'Huyghens et de celui des interférences, sur lesquels repose toute cette théorie.

Je ne puis pas terminer cet exposé succinct de la réfraction, sans présenter quelques vues théoriques sur un phénomène d'optique qui l'accompagne toujours, qu'on a beaucoup étudié, et qui est peut-être encore un de ceux dont les lois sont le moins connues; je veux parler de la division que la lumière éprouve en traversant un prisme, et à laquelle on a donné le nom de dispersion, parce qu'elle sépare et disperse en quelque sorte les rayons colorés dont se compose la lumière blanche, en leur faisant suivre des routes différentes. Il résulte de ce phénomène que les rayons de diverses couleurs ne sont pas également réfractés, ou, en d'autres termes, que les ondulations de différentes longueurs ne se propagent pas avec la même vitesse dans les mêmes milieux; car c'est une conséquence nécessaire de l'explication que nous venons de donner de la réfraction, que le rapport entre les sinus d'incidence et de réfraction pour chaque espèce d'ondes, doit toujours être égal au rapport entre leurs vitesses de propagation dans les deux milieux; en sorte que si les divers rayons les parcouraient avec la même vitesse, ils seraient également réfractés, et il n'y aurait as de dispersion. Il faut donc supposer que, dans les ilieux réfringens, les ondes de diverses longueurs ne propagent pas avec la même vitesse, ou, en d'autres rmes, ne sont pas raccourcies suivant le même rapport. Cette conséquence paraît, au premier abord, en

contradiction avec les résultats des savans calculs de M. Poisson sur la propagation des ondes sonores dans des fluides élastiques de densités différentes ; mais il faut observer que ses équations générales sont fondées sur l'hypothèse que chaque tranche infiniment mince du fluide n'est repoussée que par la tranche en contact, et qu'ainsi la force accélératrice ne s'étend qu'à des distances infiniment petites relativement à la longueur d'une ondulation. Cette hypothèse est sans doute parfaitement admissible pour les ondes sonores, dont les plus courtes ont encore quelques millimètres de longueur ; mais elle pourrait devenir inexacte pour les ondes lumineuses, dont les plus longues n'ont pas un millième de millimètre. Il est très-possible que la sphère d'activité de la force accélératrice, qui détermine la vitesse de propagation de la lumière dans un milieu réfringent, ou la dépendance mutuelle des molécules dont il se compose, s'étende à des distances qui ne soient pas infiniment petites relativement à un millième de millimètre ; cela ne contrarierait point les idées que l'expérience nous donne de la petitesse de ces sphères d'activité. Or il est aisé de voir, par des considérations mécaniques, que si la sphère d'activité des forces accélératrices s'étend effectivement à des distances sensibles relativement à la longueur des ondulations lumineuses, celles qui sont les plus longues doivent être moins ralenties dans leur marche par les milieux denses, ou moins raccourcies en proportion que les ondulations plus courtes, et par conséquent doivent être moins réfractées ; ce qui serait conforme à la seule règle générale que l'expérience ait découverte jusqu'à présent dans le phénomène de la dispersion.

Quoi qu'il en soit, les faits démontrent que les ondes lumineuses de diverses longueurs se propagent avec des vitesses différentes dans les mêmes milieux réfringens, suivant des rapports variables, dont les lois sont encore entièrement inconnues, et qui paraissent tenir d'une manière très-intime à la nature chimique des corps. Les vitesses de propagation des divers rayons présentent-elles aussi quelques différences dans l'éther seul, tel que celui qui remplit les espaces célestes ? C'est une question à laquelle il est difficile de répondre avec certitude,

mais que des observations astronomiques de M. Arago paraissent cependant résoudre négativement.

De la double réfraction et de la polarisation.

Lorsqu'on fait tomber un faisceau lumineux sur une des faces naturelles d'une rhomboïde de spath calcaire, il se divise dans son intérieur en deux autres faisceaux, qui suivent des routes différentes, et présentent ainsi deux images des objets vus au travers du rhomboïde. On a donné le nom de double réfraction à ce phénomène, ainsi qu'à tous ceux du même genre que produisent beaucoup d'autres cristaux, quand on les taille en prismes, pour rendre plus sensible la séparation des deux images.

Mais cette bifurcation de la lumière n'est pas le seul fait remarquable qu'offre la double réfraction; chacun des faisceaux dans lesquels se divisent les rayons incidens jouit de propriétés singulières qui établissent des différences entre ses côtés. Pour décrire avec précision les phénomènes qu'elles présentent, il est nécessaire d'employer et de faire connaître les expressions usitées.

Dans les cristaux où les lois de la double réfraction sont réduites à leur plus grande simplicité, il est toujours une certaine direction autour de laquelle les choses se passent de la même manière de tous les côtés, qu'on appelle l'axe du cristal. Il ne faut pas le regarder comme une ligne unique; on peut concevoir autant d'axes dans un cristal que de lignes parallèles à cette direction; et cependant celui-ci porte le nom de cristal à un seul axe, si d'ailleurs il y a une parfaite similitude dans les phénomènes optiques tout autour de l'axe. On voit que ce terme perd ici son acception ordinaire et devient synonyme de direction. On conçoit que la direction de l'axe tient à l'arrangement cristallin des particules du milieu, et qu'elle doit avoir, relativement à leurs faces ou leurs lignes de cristallisation, une position déterminée, qui reste toujours la même dans le cristal, de quelque manière qu'on le présente aux rayons incidens.

Il existe des cristaux où la similitude autour de l'axe n'a pas lieu, et où il en résulte la manifestation de deux directions particulières plus ou moins inclinées entre elles, qui présentent des phénomènes semblables à ceux qu'on observe suivant l'axe lorsque tout est pareil au-

tour de lui : on les appelle cristaux à deux axes. Mais nous ne parlerons que des cristaux à un axe, dont les propriétés optiques sont plus simples et plus faciles à saisir.

On appelle *section principale* le plan mené par l'axe perpendiculairement à la surface du cristal. Comme notre objet n'est pas d'exposer ici toutes les manières diverses dont les rayons lumineux sont brisés par les cristaux, mais seulement leur mode de propagation dans ces milieux et les propriétés optiques qu'ils y prennent, nous supposerons, pour simplifier les raisonnemens, que les rayons incidens sont toujours perpendiculaires aux faces du cristal, et compris ainsi dans le plan de sa section principale : quand nous voudrons étudier leur marche dans des directions diverses par rapport à l'axe, nous supposerons chaque fois que les faces d'entrée et de sortie ont été taillées perpendiculairement à ces directions.

Cela posé, on remarque dans le carbonate de chaux, dont la double réfraction est très-forte, qu'un des deux faisceaux prend une direction oblique à la surface, quoique les rayons incidens lui soient perpendiculaires; tandis que l'autre n'éprouve aucun brisement, conformément à la loi ordinaire de la réfraction; aussi dit-on de celui-ci qu'il est réfracté *ordinairement*, et de l'autre qu'il est réfracté *extraordinairement;* et pour les distinguer l'un de l'autre, on leur donne les mêmes noms qu'au mode de réfraction qu'ils éprouvent; ainsi l'on appelle faisceau *ordinaire* celui qui subit la réfraction ordinaire, et faisceau *extraordinaire* celui qui éprouve la réfraction extraordinaire : on donne pareillement le nom d'image *ordinaire* à celle qui est produite par les rayons ordinaires, et le nom d'image *extraordinaire* à celle qui provient des rayons extraordinaires. Dans les autres cristaux doués de la double réfraction, tels que le cristal de roche, la même bifurcation a lieu dans les mêmes circonstances, mais si faiblement qu'il faudrait des plaques très-épaisses pour la rendre sensible. On y parvient plus aisément en taillant le cristal de manière que la face de sortie soit inclinée sur la première, ce qui fait que les deux faisceaux, ne sortant plus dans des directions parallèles, finissent toujours par se séparer, si on les suit un peu loin.

Mais, sans nous occuper des détails des expériences qui établissent les lois générales de la double réfraction, nous exposerons seulement les principaux résultats auxquels elles ont conduit.

Il est à remarquer d'abord que, lorsque les rayons incidens sont perpendiculaires à la surface du cristal, comme nous le supposons, la déviation du faisceau extraordinaire se fait toujours suivant le plan de la section principale, et ensuite, que cette déviation devient nulle toutes les fois que les rayons traversent le cristal parallèlement ou perpendiculairement à l'axe.

L'observation a démontré que lorsque les rayons sont parallèles à l'axe ils ne suivent pas seulement la même direction, mais parcourent le cristal avec la même vitesse; et quand ils sont perpendiculaires à l'axe, c'est au contraire alors que leurs vitesses de propagation diffèrent le plus, quoiqu'ils suivent encore la même route. La vitesse de propagation des rayons ordinaires est la même dans toutes les directions; et c'est pour cela qu'ils sont assujettis aux lois ordinaires de la réfraction. La vitesse des rayons extraordinaires varie suivant l'angle qu'ils font avec l'axe; et l'on juge de cette vitesse, dans le système des ondulations comme dans celui de l'émission, par le brisement qu'ils éprouvent à leur entrée et leur sortie sous des incidences obliques, lequel donne le rapport entre le sinus des angles d'incidence et de réfraction. Les expériences de Huyghens, de M. Wollaston et de Malus, sur le carbonate de chaux, et les observations nombreuses de M. Biot, sur le cristal de roche, dans lesquelles il a porté à un haut degré de précision les mesures angulaires de la double réfraction, démontrent que la différence entre les carrés des vitesses de propagation des rayons ordinaires et extraordinaires est proportionnelle au carré du sinus de l'angle que la direction de ceux-ci fait avec l'axe, si l'on calcule les vitesses d'après l'hypothèse de l'émission, comme l'a fait le célèbre auteur de la mécanique céleste; et dans la théorie des ondulations, c'est entre les quotiens de l'unité divisée par les mêmes carrés qu'existe cette relation; car les rapports des vitesses sont toujours inverses dans les deux systèmes. Cette loi importante, dont la découverte est

due au génie de Huyghens, nous représente, comme des conséquences, les faits que nous venons d'exposer: les deux espèces de rayons auront la même vitesse dans la direction de l'axe, puisque alors ce sinus est égal à zéro; et la différence de vitesse croîtra graduellement avec ce sinus à mesure qu'ils s'éloignent de l'axe, jusqu'à ce qu'ils lui soient perpendiculaires, direction où elle atteindra son maximum.

Cette différence de vitesse est positive dans certains cristaux, et négative dans d'autres, c'est-à-dire que dans les uns, les rayons ordinaires marchent moins vite que les rayons extraordinaires, et que dans les autres, au contraire, ils ont plus de vitesse. Le carbonate de chaux ou spath calcaire offre un exemple du premier cas, et le cristal de roche du second.

Voilà l'exposé succinct des principes généraux de la marche des rayons ordinaires et extraordinaires dans le cristal : revenons maintenant aux propriétés physiques qu'ils manifestent à leur sortie, lorsqu'on leur fait traverser un second cristal capable, comme le premier, de diviser la lumière en deux faisceaux distincts. [1]

Considérons successivement chacun des deux faisceaux qui sortent du premier rhomboïde de spath calcaire, et d'abord celui qui a été réfracté ordinairement. Les deux nouveaux faisceaux qu'il produit en traversant le second rhomboïde, ne sont d'égale intensité qu'autant que la section principale du second cristal fait un angle de 45°, avec celle du premier; pour toutes les autres positions, les deux faisceaux, ou les deux images qu'ils donnent, ont des intensités inégales, et même un d'eux s'évanouit entièrement, lorsque la section principale du second rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire à celle du premier; quand elle lui est parallèle, c'est l'image extraordinaire qui s'évanouit, et l'image ordinaire parvient en même temps à son maximum d'éclat; quand la section principale du second rhomboïde est perpendiculaire à celle du premier, c'est au contraire l'image ordinaire

[1] J'emploierai dorénavant l'expression de *faisceau*, empruntée à la théorie de l'émission, pour désigner en général un système d'ondes qui se sépare des autres par sa direction ou même simplement par sa différence de vitesse.

qui disparaît, et l'image extraordinaire qui atteint son maximum. Le faisceau extraordinaire sorti du premier rhomboïde présente, en traversant le second, des effets inverses; son image ordinaire devient nulle quand la section principale du second cristal est parallèle à celle du premier; elle atteint son maximum, au contraire, quand la section principale du second cristal est perpendiculaire à celle du premier, et c'est alors l'image extraordinaire qui s'évanouit. En résumant, nous voyons donc que chaque faisceau produit par une des deux réfractions du premier cristal, se partage généralement entre les deux réfractions dans le second, mais en portions inégales, tant que la section principale du second cristal ne fait pas un angle de 45° avec celle du premier; qu'il n'éprouve plus qu'un seul mode de réfraction dans le second cristal quand la section principale de celui-ci est parallèle ou perpendiculaire à celle du premier, et que cette nouvelle réfraction est de même nature dans le premier cas, et de nom contraire dans le second.

Il résulte de ces faits, que les deux faisceaux produits par la double réfraction, n'ont pas les mêmes propriétés optiques tout autour de leur direction, puisqu'ils subissent tantôt la réfraction ordinaire et tantôt la réfraction extraordinaire, selon que la section principale du second cristal est dirigée suivant un certain plan ou perpendiculairement à ce plan. Si donc on mène des lignes droites perpendiculaires aux rayons suivant ces plans, et qu'on les conçoive emportées par le système d'ondes dans sa marche, elles indiqueront les deux sens dans lesquels il présente des propriétés optiques opposées.

Malus a donné le nom de polarisation à cette singulière modification de la lumière, d'après une hypothèse que Newton avait imaginée pour expliquer le phénomène : ce grand géomètre supposait que les molécules lumineuses ont deux sortes de pôles, ou plutôt de faces, jouissant de propriétés physiques différentes; que dans la lumière ordinaire, les faces de même espèce des diverses molécules lumineuses sont tournées dans toutes sortes de sens; mais que par l'action du cristal, les unes se trouvent dirigées parallèlement à sa section principale et les autres perpendiculairement, et que le genre de

réfraction qu'éprouvent les molécules lumineuses, tient au sens dans lequel leurs faces sont tournées relativement à la section principale. On conçoit qu'on peut en effet représenter les faits avec cette hypothèse. Sans m'arrêter à la discuter et à faire voir les difficultés, je dirais même les contradictions auxquelles elle conduit dans un examen approfondi, je ferai remarquer seulement qu'on peut aussi concevoir cette différence des propriétés optiques que présentent, dans deux sens rectangulaires, les faisceaux séparés par la double réfraction, en supposant, dans les ondes lumineuses des mouvemens *transversaux*, [1] qui ne seraient pas les mêmes dans les deux sens. Mais abandonnons toute idée théorique pour le moment, et continuons à étudier les faits.

Ce n'est pas seulement par son passage au travers d'un cristal qui la divise en deux faisceaux distincts, que la lumière reçoit cette singulière modification ; elle peut encore être polarisée par la simple réflexion sur la surface des corps transparens, ainsi que Malus l'a observé le premier. Si l'on fait tomber sur une glace non étamée un faisceau de lumière directe sous une obliquité de 35° environ comptés à partir de la surface, et qu'on place un rhomboïde de spath calcaire sur le trajet du rayon réfléchi, on remarque que les deux faisceaux dans lesquels il se divise en traversant le cristal ne sont d'égale intensité que lorsque la section principale du rhomboïde fait un angle de 45° avec le plan de réflexion, et que, pour toutes les autres directions de la section principale, les intensités des images sont inégales : cette inégalité est d'autant plus sensible que la section principale s'écarte plus de l'angle de 45°; et enfin, lorsqu'elle est parallèle ou perpendiculaire au plan d'incidence, l'une des deux images s'évanouit : c'est l'image extraordinaire dans le premier cas, et l'image ordinaire dans le second. On voit que la lumière réfléchie sur le verre, sous l'inclinaison de 35°, se comporte précisément comme le faisceau ordinaire sorti d'un rhomboïde dont la section principale aurait été

[1] J'appelle mouvemens *transversaux* des oscillations des molécules éthérées qui s'exécuteraient perpendiculairement à la direction des rayons.

dirigée dans le plan de réflexion. On dit du faisceau réfléchi qu'*il est polarisé dans le plan de réflexion*, et pareillement du faisceau ordinaire sorti d'un rhomboïde de spath calcaire, qu'il est polarisé dans le plan de la section principale de ce cristal; on doit donc dire aussi que le faisceau extraordinaire est polarisé perpendiculairement à la section principale, puisqu'il présente dans ce sens les mêmes propriétés que le faisceau ordinaire dans le plan de la section principale.

La polarisation complète de la lumière s'opère par réflexion à la surface de l'eau, sous l'inclinaison de 37°, et en général à la surface des corps transparens, sous une incidence telle que le rayon réfléchi soit perpendiculaire au rayon réfracté. La découverte de cette loi remarquable est due au docteur Brewster. Est-ce une loi rigoureuse, ou n'est-elle qu'approximative? La question est difficile à décider; mais la seconde hypothèse paraîtrait la plus probable.

Sous les autres incidences, la polarisation n'est que partielle, c'est-à-dire qu'en faisant tourner le rhomboïde on ne voit jamais disparaître une image. Elles passent bien à la vérité par des degrés différens de clarté; mais leurs *minima* d'intensité, qui répondent toujours aux mêmes directions de la section principale, ne sont plus égaux à zéro. Enfin, lorsque les rayons incidens sont perpendiculaires ou presque parallèles à la surface, la lumière réfléchie ne présente plus aucune trace de polarisation, c'est-à-dire que les deux images sont toujours d'égale intensité dans toutes les positions du rhomboïde.

Plusieurs corps opaques qui ne sont pas trop réfringens, tels que le marbre, les vernis noirs, etc, peuvent imprimer aussi une polarisation complète aux rayons qu'ils réfléchissent régulièrement sur leur surface; tandis que d'autres corps parfaitement diaphanes ou demi transparens, mais très-réfringens, tels que le diamant et le verre d'antimoine, ne la polarisent jamais parfaitement. Mais ce sont surtout les métaux qui polarisent le moins bien la lumière qu'ils réfléchissent, même sous les incidences les plus favorables. Il est à remarquer que les incidences qui répondent au maximum de polarisation, se rapprochent d'autant plus de la surface que le

corps réfléchissant est plus réfringent, autant qu'on en peut juger du moins par l'abondance de la lumière qu'il réfléchit, quand il est tout-à-fait opaque comme les métaux.

Les corps transparens ne polarisent pas seulement la lumière par réflexion ; ils la polarisent encore par réfraction, et d'autant plus que leur surface est plus inclinée relativement aux rayons ; mais elle n'est jamais complétement polarisée de cette manière, à moins qu'on ne lui fasse traverser successivement plusieurs plaques parallèles : il en faut d'autant plus qu'elles sont moins inclinées sur les rayons incidens. Malus, auquel on doit encore la découverte de ce mode de polarisation, montra que les rayons transmis étaient polarisés dans un sens perpendiculaire à celui des rayons réfléchis ; ainsi les premiers étant polarisés suivant le plan d'incidence, les seconds le sont perpendiculairement à ce plan. M. Arago a reconnu, par des expériences ingénieuses qui lui fournissaient des moyens d'observation très-précis, que la quantité de lumière polarisée par réflexion sur la surface d'un corps diaphane est toujours égale à celle qui se polarise par réfraction. On peut généraliser l'énoncé de ce principe remarquable, et dire que toutes les fois que la lumière se divise en deux faisceaux (sans qu'il y ait absorption) la même quantité de lumière polarisée dans l'un se retrouve dans l'autre polarisée suivant une direction perpendiculaire.

Après avoir étudié les principaux moyens de polarisation, nous allons nous occuper maintenant des phénomènes singuliers que présente la lumière polarisée lorsqu'on la fait tomber sur la surface des corps transparens ; c'est encore à Malus qu'on doit ces découvertes importantes. Nous venons de voir que la lumière réfléchie sous un angle de 35° par une glace non étamée était complétement polarisée ; cette propriété doit être générale et indépendante des modifications antérieures que la lumière incidente a pu recevoir ; et en effet la lumière polarisée suivant un plan quelconque se trouve toujours, comme la lumière ordinaire après cette réflexion, complétement polarisée dans le plan d'incidence. Or nous avons remarqué qu'un faisceau polarisé ne donnait qu'une

image en traversant un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale était parallèle ou perpendiculaire à son plan de polarisation, l'image ordinaire dans le premier cas et l'image extraordinaire dans le second, c'est-à-dire toujours l'image dont le plan de polarisation coïncide avec le sien; ainsi un faisceau polarisé suivant un plan ne peut pas fournir par une division immédiate de la lumière polarisée dans le plan perpendiculaire. En généralisant ce principe, on doit en conclure qu'un faisceau polarisé qu'on fait tomber sur une glace non étamée sous l'angle de 35°, et suivant un plan d'incidence perpendiculaire à son plan de polarisation, ne peut pas non plus fournir de lumière polarisée dans le plan d'incidence, puisque celui-ci est perpendiculaire à son plan de polarisation; mais les rayons réfléchis sous l'angle de 35° sont toujours polarisés suivant le plan d'incidence; donc le faisceau incident polarisé perpendiculairement à ce plan ne peut rien donner à la réflexion. Cette conséquence est confirmée par les belles expériences de Malus; dans le cas dont nous parlons il n'y a plus de lumière réfléchie, elle est transmise en entier. Mais si, sans changer l'inclinaison de la glace, on la fait tourner autour du faisceau incident, de manière à placer successivement le plan de réflexion dans tous les azimuts,[1] on observe que la lumière réfléchie commence à renaître dès que le plan de réflexion s'écarte du plan perpendiculaire à celui de la polarisation primitive : d'abord très-faible, elle augmente à mesure que le plan de réflexion s'en éloigne davantage et atteint enfin son maximum quand il est parallèle au plan primitif de polarisation; puis, la lumière réfléchie décroît par les mêmes degrés, et redevient nulle enfin quand le plan d'incidence se retrouve perpendiculaire au plan primitif de polarisation.

On voit que ces phénomènes sont tout-à-fait analogues à ceux que nous avons observés dans chacune des

---

[1] On donne le nom général d'*azimut*, dans la description des phénomènes de polarisation, aux angles que les plans menés par le rayon lumineux suivant toutes les directions font avec le plan primitif de polarisation : c'est un terme emprunté de l'astronomie, où il signifie les angles que font avec le méridien les plans verticaux dirigés sur les divers points de l'horizon.

deux images produites par un faisceau polarisé qui traverse un rhomboïde de spath calcaire, quand on fait tourner ce cristal. C'est aussi par la même formule que Malus a représenté dans les deux cas les variations d'intensité de ces images et de la lumière réfléchie. Si l'on appelle i l'angle que le plan primitif fait avec le plan de réflexion, ou celui suivant lequel la double réfraction polarise l'image que l'on considère, l'intensité de cette image et celle de la lumière réfléchie seront représentées par $\cos^2 i$ multipliant leur maximum d'intensité, que nous prendrons pour unité.

Vérifions cette formule sur le cas où le faisceau polarisé traverse un rhomboïde de spath calcaire; appelons i l'angle que le plan de polarisation de l'image ordinaire, c'est-à-dire la section principale du cristal, fait avec le plan primitif; $90°-i$ sera l'angle que celui-ci fait avec le plan de polarisation de l'image extraordinaire; ainsi $\cos^2 i$, représentant l'intensité de l'image ordinaire, celle de l'image extraordinaire sera représentée par $\cos^2 (90°-i)$ ou $\sin^2 i$. Quand i égale zéro $\sin^2 i$ devient nul, c'est-à-dire que lorsque la section principale se confond avec le plan primitif, l'image extraordinaire s'évanouit et toute la lumière passe dans l'image ordinaire, puisque alors $\cos^2 i$ est égal à 1. Quand $i=45°$, $\sin^2 i$ et $\cos^2 i$ deviennent chacun égaux à $\frac{1}{2}$, et les deux images sont d'égale intensité; enfin, quand $i=90°$, $\sin^2 i=1$ et $\cos^2 i=0$, ce qui signifie que l'image ordinaire s'évanouit et que toute la lumière passe dans l'image extraordinaire. Les mêmes effets se répètent dans les autres cadrans. On voit que ces conséquences de la formule sont conformes à l'observation. Pour que cette formule fût bien démontrée, il faudrait qu'elle eût été vérifiée directement sur des valeurs intermédiaires de i; mais elle a déjà subi dans ce cas l'épreuve de plusieurs vérifications indirectes, qui, sans être décisives, augmentent néanmoins la probabilité de son exactitude. D'ailleurs l'analogie et des considérations mécaniques très-admissibles semblent indiquer qu'elle est rigoureuse.

En exposant les principes fondamentaux de la théorie des ondes, nous avons montré que l'intensité de la lumière est égale à la somme des forces vives comprises

dans chaque ondulation, ou simplement pour un même milieu, à la somme des carrés des vitesses des divers points de l'onde, et peut être représentée en conséquence par le carré du coefficient commun de ces vitesses; ainsi, $\cos^2 i$ étant l'intensité de lumière de l'image ordinaire, $\cos i$ est le coefficient commun des vitesses d'oscillation dans cette image et représente leur intensité; et de même, $\sin^2 i$ étant l'intensité de lumière de l'image extraordinaire, $\sin i$ représente l'intensité des vitesses d'oscillation dans le système d'ondes qui a éprouvé la réfraction extraordinaire. Nous voyons donc que la décomposition des vitesses d'oscillation du faisceau polarisé primitif, qui se résout en deux autres en pénétrant le cristal, se fait absolument comme si ses mouvemens oscillatoires, au lieu d'être parallèles aux rayons, s'exécutaient suivant une direction perpendiculaire, et parallèlement ou perpendiculairement au plan de polarisation; car alors les deux vitesses composantes seraient aussi proportionnelles à $\sin i$ et $\cos i$, d'après le principe de la composition et de la décomposition des petits mouvemens d'un fluide, qui doivent se faire comme celles des forces en statique. La loi de Malus semble donc indiquer que les mouvemens oscillatoires des molécules éthérées s'exécutent perpendiculairement aux rayons; c'est une hypothèse que rendent encore plus probable d'autres propriétés remarquables de la lumière polarisée que nous allons faire connaître.

En étudiant les interférences des rayons polarisés, nous avons trouvé, M. Arago et moi, qu'ils n'exercent plus d'influence les uns sur les autres quand leurs plans de polarisation sont perpendiculaires entre eux, c'est-à-dire qu'ils ne peuvent plus alors produire de franges, quoique toutes les conditions nécessaires à leur apparition, dans le cas ordinaire, soient d'ailleurs scrupuleusement remplies. Je citerai les trois principales expériences qui nous ont servi à établir ce fait, en commençant par celle qui appartient à M. Arago. Elle consiste à faire traverser aux deux faisceaux émanant du même point lumineux et introduits par deux fentes parallèles, deux piles de lames transparentes très-minces, telles que celle de mica ou de verre soufflé, qu'on incline assez l'une et

l'autre pour polariser presque complétement chacun des deux faisceaux, en ayant soin que les deux plans suivant lesquels on les incline soient perpendiculaires entre eux: alors on ne peut plus apercevoir de franges, quelque soin que l'on prenne d'ailleurs à compenser les différences de marche en faisant varier très-lentement l'inclinaison d'une des piles;[1] tandis que, lorsque les plans d'incidence des piles ne sont plus perpendiculaires entre eux, on parvient toujours à faire paraître les franges. A mesure que ces plans s'éloignent du parallélisme, les franges s'affaiblissent, et elles disparaissent tout-à-fait quand ils sont rectangulaires, si la polarisation des deux faisceaux a été assez complète. Il résulte de cette expérience que les rayons polarisés suivant le même plan s'influencent mutuellement, comme des rayons de lumière non modifiée; mais que cette influence diminue à mesure que les plans de polarisation s'écartent l'un de l'autre, et devient nulle quand ils sont rectangulaires.

Voici une autre expérience qui conduit aux mêmes conséquences. On prend une lame de sulfate de chaux[2] ou de cristal de roche parallèle à l'axe, et d'une épaisseur bien uniforme; on la coupe en deux, et l'on place chacune des moitiés sur une des fentes de l'écran. Je suppose qu'on ait tourné ces deux moitiés de manière que les bords qui étaient contigus dans la lame avant sa division, soient restés parallèles; les axes le seront aussi. Or, dans ce cas, on n'aperçoit qu'un seul groupe de franges, au milieu de l'espace éclairé, comme avant la division de la lame. Mais si l'on fait tourner l'une de ses moitiés dans son plan, en dérangeant ainsi le parallé-

[1] On pourrait faire la même expérience avec des lames de verre beaucoup plus épaisses, d'un millimètre par exemple, qui auraient été dressées et polies avec soin, de manière que leurs surfaces fussent bien parallèles, et qu'on aurait ensuite coupées en deux pour former des piles d'égale épaisseur : il faudrait seulement faire varier plus lentement l'inclinaison des piles, afin d'être sûr de ne point laisser passer les franges sans les apercevoir.

[2] Quoique le sulfate de chaux soit un cristal à deux axes, ainsi que M. Brewster l'a démontré, les lames dans lesquelles il se divise naturellement, et qui sont parallèles au plan des deux axes, produisent sur les rayons perpendiculaires les mêmes effets que si elles ne contenaient qu'un seul axe suivant la direction médiale, je ne considérerai ici que cette direction, que j'appellerai l'axe du cristal.

lisme de leurs axes, on fait naître deux autres groupes de franges plus faibles, situés l'un à droite et l'autre à gauche du groupe du milieu, et qui en sont complètement séparés, dans la lumière blanche, lorsque les lames de cristal de roche ou de sulfate de chaux dont on se sert, ont seulement un millimètre d'épaisseur. Il est à remarquer que le nombre de largeurs des franges comprises entre le milieu d'un de ces groupes et celui du groupe central est proportionnel à l'épaisseur des lames, pour des cristaux de même nature, ou dont la double réfraction a la même énergie, comme le cristal de roche et le sulfate de chaux. A mesure que l'angle des deux axes augmente, ces nouveaux groupes de franges deviennent de plus en plus prononcés, et atteignent enfin leur maximum d'intensité, quand les axes des deux lames sont perpendiculaires entre eux; alors le groupe central, qui s'était affaibli graduellement, a tout-à-fait disparu, et est remplacé par une lumière uniforme. Il faut en conclure que les rayons qui les produisaient par leur interférence ne sont plus capables de s'influencer mutuellement. Il est aisé de voir, d'après la position de ces franges, qu'elles résultaient de l'interférence des rayons qui ont subi le même mode de réfraction dans les deux lames, puisque les ayant parcourues avec des vitesses égales, ils doivent arriver simultanément dans le milieu de l'espace éclairé, qui répond à des chemins égaux, si d'ailleurs les deux lames sont de même épaisseur et restent toujours l'une et l'autre perpendiculaires aux rayons, comme nous le supposons ici. Ainsi les franges du groupe central étaient formées par la superposition de celles qui résultaient, 1° de l'interférence des rayons ordinaires de la lame de gauche avec les rayons ordinaires de la lame de droite, 2° de l'interférence des rayons extraordinaires de la première lame avec les rayons extraordinaires de la seconde. Les deux groupes excentriques au contraire résultent de l'interférence des rayons qui ont subi des réfractions différentes dans les deux lames; et comme ce sont les rayons ordinaires qui marchent le plus vite dans le cristal de roche, ou le sulfate de chaux, on voit que si l'on emploie une de ces deux espèces de cristaux, le groupe de gauche doit être formé par la réunion des rayons extraordinaires

de la lame de gauche avec les rayons ordinaires de la lame de droite, et le groupe de droite par la réunion des rayons extraordinaires de la lame de droite avec les rayons ordinaires de la lame de gauche. Cela posé, il s'agit de déterminer maintenant le sens de polarisation de chacun des faisceaux qui interfèrent, pour en conclure quelles sont les directions relatives des plans de polarisation qui favorisent ou empêchent leur influence mutuelle. L'analogie indique que le mode de polarisation de la lumière doit être dans les lames minces le même que dans les cristaux assez épais pour la diviser en deux faisceaux distincts. Mais comme cette hypothèse peut être l'objet d'une discussion, et contredit même une théorie ingénieuse d'un de nos plus célèbres physiciens, nous ne la présenterons pas d'abord comme un principe certain, et nous aurons recours à une expérience directe pour déterminer les plans de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires qui sortent de ces lames, auxquelles nous avons supposé un ou deux millimètres d'épaisseur. Cette épaisseur suffit pour qu'on puisse tailler un de leurs bords en biseau, et obtenir par cette forme prismatique la séparation des rayons ordinaires et extraordinaires ; alors on reconnaît qu'ils sont effectivement polarisés, les premiers suivant la section principale et les autres dans un sens perpendiculaire. Si l'on ne regardait pas encore cela comme une preuve suffisante que tel est aussi leur mode de polarisation au sortir de chaque lame, quand ses deux surfaces sont parallèles, on en trouverait une nouvelle démonstration dans les faits que nous venons de décrire, en partant des principes établis par l'expérience de M. Arago, et qui sont d'ailleurs confirmés par celle dont nous allons bientôt parler ; si, au contraire, on ne met plus en question le sens de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires, l'expérience actuelle devient une seconde démonstration de ces principes. En effet, lorsque les axes des deux lames étaient parallèles, les rayons qui avaient éprouvé les mêmes réfractions dans ces deux cristaux se trouvaient polarisés suivant la même direction, et ceux de noms contraires suivant des directions rectangulaires; voilà pourquoi le groupe de franges du milieu, qui pro-

vient de l'interférence des rayons de même nom, était à son maximum d'intensité, et les deux autres, qui résultent de l'interférence des rayons de noms contraires, ne paraissaient pas encore. Mais quand les axes des deux lames formaient entre eux un angle oblique, de 45° par exemple, les rayons de noms contraires et ceux de même nom pouvaient agir à la fois les uns sur les autres, puisque leurs plans de polarisation n'étaient plus rectangulaires, et les trois groupes de franges étaient produits. Lorsqu'enfin les axes deviennent perpendiculaires entre eux, les rayons de même nom se trouvent polarisés suivant des directions rectangulaires, et le groupe central, auquel ils donnaient naissance, s'évanouit; tandis que les rayons ordinaires de la lame de gauche sont alors polarisés parallèlement aux rayons extraordinaires de la lame de droite; ce qui fait que le groupe de droite, qu'ils produisent, atteint son maximum d'intensité. Il en est de même du groupe de gauche, résultant de l'interférence des rayons ordinaires de la lame de droite avec les rayons extraordinaires de la lame de gauche.

Voici une troisième expérience qui confirme encore les conséquences que nous avons tirées de la première. Ayant fait polir un rhomboïde de spath calcaire sur deux faces opposées, dressées avec soin et bien parallèles, je le sciai perpendiculairement à ces faces, et j'obtins de cette manière deux rhomboïdes d'égale épaisseur, et dans lesquels la marche des rayons ordinaires et extraordinaires devait être exactement pareille sous la même incidence. Je les plaçai l'un devant l'autre, de manière que les rayons partis du point lumineux qui avaient traversé le premier rhomboïde parcourussent ensuite le second, en ayant soin que leurs faces fussent perpendiculaires à la direction des rayons incidens; de plus, la section principale du second rhomboïde était perpendiculaire à celle du premier, de sorte que les quatre faisceaux qu'ils produisent en général, étaient réduits à deux; le faisceau ordinaire du premier rhomboïde était réfracté extraordinairement dans le second, et le faisceau extraordinaire de celui-là était réfracté ordinairement dans celui-ci. Il résultait de cette disposition, que les différences de marche, provenant de la différence de vitesse des rayons or-

dinaires et extraordinaires, se trouvaient compensées pour les deux faisceaux sortans. Ils se croisaient d'ailleurs sous un angle très-petit, et tel que les franges devaient avoir une largeur beaucoup plus que suffisante pour être aperçues ; et cependant, quoique toutes les conditions nécessaires à la production des franges, pour les circonstances ordinaires, eussent été soigneusement observées, je ne pus jamais parvenir à les faire paraître. Pendant que je les cherchais avec soin en tenant une loupe devant mon œil, je faisais varier lentement la direction d'un des rhomboïdes en le déviant tantôt à droite, tantôt à gauche ; afin de compenser l'effet résultant de quelque différence d'épaisseur s'il s'en trouvait encore ; mais malgré ce tâtonnement réitéré un grand nombre de fois, je n'aperçus point de franges ; et cela ne doit plus surprendre, d'après ce que les autres expériences nous ont appris, puisque les deux faisceaux sortans se trouvaient polarisés à angle droit. Ce qui prouvait bien d'ailleurs que l'absence des franges ne tenait point à la difficulté d'arriver par le tâtonnement à une compensation exacte, c'est que je parvenais aisément à les faire paraître en employant de la lumière qui avait été polarisée avant son entrée dans les rhomboïdes, et en lui faisant éprouver une nouvelle polarisation après sa sortie. Il est donc complétement démontré, par les expériences que je viens de rapporter, que les rayons polarisés à angle droit ne peuvent exercer aucune influence sensible l'un sur l'autre, ou en d'autres termes, que leur réunion produit toujours la même intensité de lumière, quelles que soient les différences de marche des deux systèmes d'ondes qui interfèrent.

Un autre fait remarquable, c'est qu'une fois qu'ils ont été polarisés suivant des directions rectangulaires, il ne suffit plus qu'ils soient ramenés à un plan commun de polarisation pour qu'ils puissent donner des signes apparens de leur influence mutuelle. En effet, si dans l'expérience de M. Arago, ou celle que j'ai décrite ensuite, on fait passer les rayons sortis des deux fentes, qui sont polarisés à angle droit, au travers d'une pile de glaces inclinées, on n'aperçoit pas de franges, dans quelque direction qu'on tourne son plan d'incidence. Au lieu d'une pile, on peut

employer un rhomboïde de spath calcaire; si l'on incline sa section principale de 45° sur les plans de polarisation des faisceaux incidens, de manière qu'elle divise en deux parties égales l'angle qu'ils font entre eux, chaque image contiendra la moitié de chaque faisceau; et ces deux moitiés ayant le même plan de polarisation dans la même image, devraient y produire des franges, s'il suffisait de ramener les rayons à un plan commun de polarisation pour rétablir les effets apparens de leur influence mutuelle. Mais on ne peut jamais obtenir des franges par ce moyen, tant que les rayons n'ont pas été polarisés suivant un même plan, avant d'être divisés en deux faisceaux polarisés à angle droit.

Lorsque la lumière a éprouvé cette polarisation préalable, au contraire, l'interposition du rhomboïde fait reparaître les franges. La direction la plus avantageuse à donner au plan primitif de polarisation, est celle qui divise en deux parties égales l'angle des plans rectangulaires suivant lesquels les deux faisceaux sont polarisés en second lieu, parce qu'alors la lumière incidente se partage également entre eux. Supposons, pour fixer les idées, que le plan de la polarisation primitive soit horizontal, il faudra que les plans de la polarisation suivante, imprimée à chacun des deux faisceaux, soient inclinés de 45° sur le plan horizontal, l'un en dessus, l'autre en dessous, de sorte qu'ils restent perpendiculaires entre eux. On peut obtenir cette polarisation rectangulaire, soit à l'aide des deux petites piles employées dans l'expérience de M. Arago, soit avec deux lames, dont les axes sont disposés rectangulairement, soit enfin avec une seule lame cristallisée; nous ne considérerons que ce dernier cas, les deux autres présentant des phénomènes absolument analogues.

Pour diviser la lumière en deux faisceaux qui se croisent sous un petit angle, et qui puissent ainsi faire naître des franges, l'appareil des deux miroirs est généralement préférable à l'écran percé de deux fentes, parce qu'il produit des franges plus brillantes; il a d'ailleurs ici l'avantage de donner immédiatement aux deux faisceaux la polarisation préalable nécessaire à notre expérience; il suffit pour cela que les deux miroirs soient de verre non étamé, et inclinés de 35° environ sur les rayons inci-

dens ; il faut avoir soin de les noircir par derrière, pour détruire la seconde réflexion. On place près d'eux, dans le trajet des rayons réfléchis, et perpendiculairement à leur direction, une lame de sulfate de chaux ou de cristal de roche, parallèle à l'axe, d'un ou deux millimètres d'épaisseur, en inclinant sa section principale de 45° sur le plan de la polarisation primitive, que nous avons supposé horizontal. L'appareil étant ainsi disposé, on ne verra qu'un seul groupe de franges au travers de la lame, comme avant son interposition, et il occupera la même position. Mais si l'on met devant la loupe une pile de glaces inclinées dans un sens horizontal ou vertical, on découvrira, de chaque côté du groupe central, un autre groupe de franges, qui en sera d'autant plus éloigné que la lame cristallisée sera plus épaisse. Remplace-t-on la pile de glaces par un rhomboïde de spath calcaire, dont la section principale est dirigée horizontalement ou verticalement, l'on voit, dans chacune des deux images qu'il produit, les deux systèmes de franges additionnels que l'interposition de la pile de glaces avait fait naître ; et il est à remarquer que ces deux images sont complémentaires l'une de l'autre, c'est-à-dire que les bandes obscures de l'une répondent aux bandes brillantes de l'autre.

Nous voyons dans cette expérience une nouvelle confirmation des principes démontrés par les précédentes. Les rayons qui ont éprouvé des réfractions de noms contraires ne peuvent s'influencer, parce que, sortant de la même lame, dans le cas que nous considérons maintenant, ils se trouvent polarisés suivant des directions rectangulaires ; en conséquence, les groupes de droite et de gauche ne peuvent exister, à moins qu'on ne rétablisse l'influence mutuelle de ces rayons en les ramenant à un plan commun de polarisation ; c'est ce que fait l'interposition de la pile de glaces ou du rhomboïde. Les franges ainsi produites sont d'autant plus prononcées que les deux faisceaux de noms contraires qui concourent à leur formation sont plus égaux en intensité ; et voilà pourquoi la direction de la section principale du rhomboïde qui fait un angle de 45° avec l'axe de la lame, est la plus favorable à l'apparition des franges. Quand la section principale du rhomboïde est parallèle ou perpendiculaire

à celle de la lame, les rayons réfractés ordinairement par la lame passent en entier dans une image, au lieu de se partager entre les deux, et tous les rayons extraordinaires passent dans l'autre image, en sorte qu'il ne peut plus y avoir interférence entre eux; et les groupes additionnels disparaissent: chaque image ne présente plus que les franges qui résultent de l'interférence des rayons de même nom, c'est-à-dire celles qui composent le groupe central.

Ces deux groupes de franges additionnelles que présentait la lumière polarisée dans la première position du rhomboïde, fournissent un des moyens les plus précis de mesurer la double réfraction et d'en étudier la loi. En effet, leur position excentrique tient à la différence de marche des rayons ordinaires et extraordinaires qui sont sortis de la lame; et l'on peut juger du nombre d'ondulations dont les rayons extraordinaires du faisceau de droite sont restés en arrière des rayons ordinaires de gauche, par le nombre de largeurs de franges comprises entre le milieu du groupe de droite et celui du groupe central: on détermine encore mieux cette différence de marche, en mesurant l'intervalle compris entre les milieux des deux groupes extrêmes, qui est le double de leur distance au milieu du groupe central. C'est la lumière blanche qu'il est le plus commode d'employer dans ces sortes d'observations; d'abord, parce qu'elle est plus vive, et en second lieu, parce qu'elle rend la bande centrale de chaque groupe plus facile à reconnaître. [1] Comparant ensuite l'épaisseur de la lame à la différence de marche observée, on en conclut le rapport des vitesses des rayons ordinaires et extraordinaires.

Avec l'appareil que je viens de décrire, nous avons fait, M. Arago et moi, une expérience de ce genre sur une plaque de cristal de roche parallèle à l'axe, et le résultat de nos mesures nous a donné la même différence de vitesse entre les rayons ordinaires et extraordinaires que

---

[1] Ce n'est alors, à parler rigoureusement, que la double réfraction des rayons les plus brillans, c'est-à-dire des rayons jaunes, qu'on mesure; mais c'est précisément la double réfraction moyenne; et d'ailleurs celles des autres espèces de rayons en diffèrent généralement très-peu.

M. Biot avait trouvée par l'observation directe de l'angle de divergence de ces rayons dans des prismes de cristal de roche. Le procédé de M. Biot ne le cède pas au nôtre en exactitude, quand il s'agit de mesurer la double réfraction des cristaux qui la possèdent à un haut degré, comme le carbonate de chaux, le cristal de roche, le sulfate de chaux, etc.; mais le moyen que fournit la diffraction est bien préférable pour les substances où la double réfraction est beaucoup plus faible : en prenant une plaque assez épaisse, on peut déterminer la différence de vitesse des deux espèces de rayons avec une exactitude presque illimitée; et il n'est pas même nécessaire que cette plaque ait une grande épaisseur pour que la précision des résultats soit déjà portée à un très-haut degré; car il est facile d'apercevoir ainsi des différences d'un cinquième d'ondulation, c'est-à-dire d'un dix-millième de millimètre, dans la marche des rayons. Ce procédé servirait également à vérifier la loi de Huyghens de la manière la plus délicate, pour les rayons dont la direction se rapproche beaucoup de l'axe.

On voit encore ici, par la concordance des résultats de M. Biot avec les nôtres, quelles relations multipliées le principe des interférences établit entre tous les phénomènes de l'optique.

Nous avons supposé que la lumière se polarisait dans les lames cristallisées de la même manière que dans les cristaux les plus épais, c'est-à-dire que les rayons qui éprouvaient la réfraction ordinaire étaient polarisés suivant la section principale et les autres suivant un plan perpendiculaire. Cette hypothèse, indiquée par l'analogie, ne doit être abandonnée que dans le cas où elle se trouverait en contradiction avec les faits; or, en la suivant dans ses conséquences pour savoir quels faisceaux devaient s'influencer et produire des franges, nous avons toujours vu les résultats de l'observation s'accorder avec elle. D'ailleurs les lames employées dans nos expériences ayant au moins un millimètre d'épaisseur, pouvaient être taillées en biseau sur leur bord et produire par ce moyen la séparation des faisceaux ordinaires et extraordinaires, qu'on trouve alors polarisés parallèlement et perpendiculairement à la section principale. Il n'est nul-

lement probable que ce mode de polarisation soit déterminé par l'inclinaison assez légère des deux faces du cristal, qui divise la lumière en deux faisceaux distincts dès que cet angle a seulement dix degrés; en effet, un prisme de verre d'un angle égal n'imprime à la lumière transmise qu'une polarisation insensible par l'obliquité de ses faces, qui d'ailleurs, si elle était plus prononcée, ne polariserait la lumière que perpendiculairement au plan d'incidence. Ainsi, en considérant l'action polarisante du prisme de cristal comme généralement composée de deux, l'une qui tient à l'inclinaison de ses faces et l'autre à sa double réfraction, on ne peut attribuer qu'à celle-ci la polarisation des deux faisceaux dans des directions parallèles et perpendiculaires à la section principale, et l'on doit conclure qu'ils éprouvent encore le même mode de polarisation lorsque le parallélisme des faces empêche de les distinguer, puisqu'il ne change rien aux lois de la double réfraction.

Ces conséquences, si conformes aux règles de l'analogie, n'ont cependant point été admises par M. Biot, qui suppose que la lumière reçoit dans les lames minces cristallisées, et même dans celles qui ont plusieurs millimètres d'épaisseur, un mode de polarisation tout-à-fait différent de celui qu'elle manifeste en sortant d'un cristal assez épais pour la diviser en deux faisceaux distincts. L'opinion de ce savant physicien était d'un assez grand poids pour m'engager à vérifier encore par de nouvelles expériences le sens de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires dans les lames cristallisées; mais les résultats que j'ai obtenus se sont toujours accordés avec l'hypothèse indiquée par l'analogie.

Ayant placé les deux moitiés d'une lame de sulfate de chaux d'un millimètre d'épaisseur environ devant deux fentes pratiquées dans un écran, en tournant ces lames de manière que leurs axes fussent perpendiculaires entre eux, suivant la disposition que j'ai déjà indiquée, j'ai cherché avec un rhomboïde de chaux carbonatée le sens de polarisation de chacun des deux groupes de franges qu'elles produisaient. Nous avons vu que le groupe de droite résulte nécessairement, d'après les lois connues des interférences, de la réunion des rayons extraordinaires de

droite avec les rayons ordinaires de gauche, puisque ceux-ci marchent plus vite que ceux-là dans le sulfate de chaux ; ce groupe doit donc être polarisé perpendiculairement à la section principale de la lame de droite, puisque ce sens de polarisation est à la fois celui des rayons ordinaires de gauche et des rayons extraordinaires de droite, d'après la disposition des lames, et que d'ailleurs les expériences directes d'interférence sur deux faisceaux polarisés dans un même plan démontrent que les franges ainsi produites sont toujours polarisées suivant ce plan. De même, le groupe de gauche résultant de l'interférence des rayons ordinaires de droite avec les rayons extraordinaires de gauche sera polarisé perpendiculairement à la section principale de la lame de gauche. Or ces conséquences de notre hypothèse sont parfaitement conformes à l'expérience ; car on trouve que lorsque la section principale du rhomboïde, placé devant la loupe, est parallèle à l'axe de la lame de droite, l'image ordinaire ne contient plus que les franges de gauche, et l'image extraordinaire celles de droite ; et réciproquement quand la section principale du rhomboïde est parallèle à l'axe de la lame de gauche, ou perpendiculaire à celui de la lame de droite, c'est le groupe de gauche qui a disparu de l'image ordinaire, et celui de droite de l'image extraordinaire.

On voit que les rayons ordinaires et extraordinaires de chaque lame ne sont plus distingués ici par la différence de leur direction, comme lorsque le cristal est taillé en prisme, mais par la différence de leurs effets d'interférence. Ainsi, par exemple, dans l'espace occupé par les franges du groupe de droite, qui résultent de l'interférence des rayons extraordinaires de droite avec les rayons ordinaires de gauche, il arrive en même temps des rayons ordinaires de droite et des rayons extraordinaires de gauche, qui, étant polarisés suivant une direction commune, s'influencent nécessairement, mais n'y produisent pas de franges sensibles, à cause de la trop grande différence de marche qui se trouve entre eux à cet endroit, ou en d'autres termes, à cause de son trop grand éloignement de la bande centrale, qui pour ces deux faisceaux est située vers la gauche ; car nous avons

vu que dans la lumière blanche, on ne peut distinguer qu'un nombre très-limité de franges à partir de la bande centrale, et qu'au delà de celles du septième ou huitième ordre la réunion des deux faisceaux ne produit plus qu'une lumière uniforme. Les rayons ordinaires et extraordinaires de chaque lame se trouvent toujours ensemble au même point de l'espace éclairé, mais les uns y forment des franges sensibles par leur interférence avec les rayons de nom contraire qui viennent de l'autre lame, tandis que les autres n'y apportent qu'une lumière uniforme : voilà ce qui permet de les distinguer et de juger du sens de leur polarisation. [1]

Après avoir montré que ces phénomènes d'interférences confirment l'hypothèse que nous avons adoptée, nous allons prouver qu'ils sont en contradiction avec la théorie ingénieuse de la *polarisation mobile*, dont nous rappellerons d'abord les principes fondamentaux.

M. Biot suppose que, lorsqu'un faisceau polarisé traverse un cristal doué de la double réfraction, et dont la section principale n'est ni parallèle ni perpendiculaire au plan primitif de polarisation, *les axes des molécules lumineuses*, d'abord dirigés suivant ce plan, éprouvent, en pénétrant dans le cristal, des oscillations qui les portent alternativement à droite et à gauche de la section principale, tantôt dans le plan primitif, tantôt dans un plan situé de l'autre côté à la même distance angulaire, qu'il appelle l'azimut $2i$, représentant par i, l'angle de la section principale avec le plan primitif, à partir duquel se comptent tous les azimuts. Ainsi, par exemple, si la section principale fait un angle de 45° avec le plan primitif de polarisation, les axes des molécules se por-

[1] Quand deux faisceaux qui interfèrent sont polarisés dans le même sens, leurs franges sont aussi polarisées suivant la même direction, ainsi que nous l'avons déjà dit ; mais lorsqu'ils sont polarisés suivant deux directions différentes formant entre elles un angle aigu, les franges plus faibles qu'ils produisent sont polarisées à la fois suivant les deux directions, c'est-à-dire qu'elles disparaissent également de l'image extraordinaire, soit qu'on tourne la section principale du rhomboïde suivant la première ou la seconde direction ; ce dont il est facile de sentir la raison, puisque dans un cas comme dans l'autre un des faisceaux interférens est exclu de l'image extraordinaire, qui ne peut plus présenter en conséquence qu'une lumière uniforme.

teront alternativement de ce plan dans un autre incliné aussi de 45° sur la section principale, et qui sera en conséquence perpendiculaire au premier ; dans ce cas particulier $2i$ est égal à 90°. M. Biot suppose que ces oscillations se répètent un très-grand nombre de fois avant que les molécules lumineuses éprouvent la polarisation *fixe*, qui range leurs axes parallèlement et perpendiculairement à la section principale ; il faut une épaisseur de plusieurs millimètres, et même de plusieurs centimètres, suivant cet habile physicien, pour que la polarisation mobile se change en polarisation fixe dans le cristal de roche ou le sulfate de chaux ; du moins, tant que le parallélisme des faces d'entrée et de sortie empêche la séparation des faisceaux ordinaire et extraordinaire, qui est toujours accompagnée de la polarisation fixe. Mais lorsque les faces sont parallèles et que l'épaisseur de la plaque n'excède pas celles que nous venons d'indiquer, les molécules lumineuses qui l'ont traversée, au lieu d'être polarisées suivant sa section principale et la direction perpendiculaire, le sont définitivement dans le plan primitif ou l'azimut $2i$, selon que la dernière oscillation de leurs axes les portait vers le premier ou le second plan, et soit qu'elle fût achevée ou seulement commencée au moment de leur sortie ; au moins, selon M. Biot, se comportent-elles toujours dans le rhomboïde qui sert à analyser la lumière émergente, comme si leur dernière oscillation avait été terminée. La durée de ces oscillations, ou l'épaisseur de cristal dans laquelle chacune d'elles s'exécute, est constante pour les molécules lumineuses de même nature, et varie d'une espèce à l'autre proportionnellement aux longueurs des accès.

Suivons maintenant les conséquences de cette théorie ; et considérons le cas où les deux moitiés d'une lame de sulfate de chaux, d'un ou deux millimètres d'épaisseur, sont placées devant deux miroirs de verre noir sur le trajet des rayons réfléchis. Supposons que les miroirs, disposés de manière à produire des franges, soient en outre inclinés de 35° sur les rayons qui émanent du point lumineux, afin de les polariser complétement par réflexion avant leur introduction dans les lames cristallisées, comme dans l'appareil que nous avons décrit précédemment ; suppo-

sons de plus que les axes des deux lames sont perpendiculaires entre eux, et font chacun un angle de 45° avec le plan de réflexion. D'après la théorie de la polarisation mobile, tous les rayons émergens doivent être polarisés parallèlement ou perpendiculairement à ce plan, qui est celui de la polarisation primitive ; ainsi chacun des deux groupes de franges, qu'on observe à droite et à gauche, résulte de l'interférence de deux faisceaux poralisés l'un et l'autre suivant ce plan, ou l'un et l'autre suivant la direction perpendiculaire ; car il ne peut y avoir de franges produites par l'interférence de rayons polarisés suivant ce plan avec des rayons polarisés suivant la direction perpendiculaire ; par conséquent, si les deux groupes de franges pouvaient donner des signes de polarisation, ce ne devrait être que dans l'une ou l'autre de ces deux directions rectangulaires : or, l'expérience est aussi opposée qu'elle peut l'être à cette conséquence, puisque c'est précisément quand on place la section principale du rhomboïde dans l'une ou l'autre de ces directions que les deux images de chaque groupe ont la même intensité ; et pour qu'une d'elles s'évanouisse, il faut au contraire que la section principale du rhomboïde fasse un angle de 45° avec ces directions, c'est-à-dire qu'elle soit parallèle ou perpendiculaire aux sections principales des deux lames. Quand elle est parallèle à celle de la lame de gauche, c'est le groupe de gauche qui disparaît de l'image ordinaire, et quand elle est parallèle à celle de la lame de droite, c'est le groupe de droite. On voit que le sens de polarisation des franges est le même que dans l'expérience précédemment rapportée, où la lumière incidente n'avait pas éprouvé de polarisation préalable, avant de traverser les lames cristallisées. Ainsi, soit qu'on emploie de la lumière directe ou polarisée, les faisceaux ordinaires et extraordinaires dans lesquels elle se divise en traversant une lame cristallisée, sont toujours polarisés, le premier suivant sa section principale, et le second dans un sens perpendiculaire.

Jusqu'à présent nous avons employé des lames d'un millimètre d'épaisseur au moins, et nous avons constamment trouvé pour les rayons ordinaires et extraordinaires les mêmes sens de polarisation qu'ils manifestent lorsqu'ils

sont séparés en deux faisceaux distincts. Il était intéressant de s'assurer aussi par les procédés d'interférence si le même mode de polarisation avait encore lieu dans des lames beaucoup plus minces, telles que celles qui colorent la lumière polarisée, quand on l'analyse à sa sortie avec un rhomboïde de spath calcaire; car ce sont ces phénomènes de coloration qui ont conduit M. Biot à une supposition contraire. Pour cela j'ai pris une lame de sulfate de chaux de deux à trois dixièmes de millimètres d'épaisseur, qui se colorait fortement, et cependant était encore assez épaisse pour qu'on ne pût confondre les groupes de droite et de gauche; et l'ayant divisée en deux parties, je les ai disposées de la manière indiquée précédemment. Les deux groupes de franges au lieu d'être entièrement séparés, comme dans le cas où ces lames avaient un millimètre d'épaisseur, se mêlaient un peu dans l'espace intermédiaire; mais il était facile néanmoins de distinguer dans chacun d'eux les bandes des trois premiers ordres, et de s'assurer que le groupe de droite, par exemple, était polarisé perpendiculairement à l'axe de la lame de droite; car lorsqu'on tournait la section principale du rhomboïde suivant cette direction, il disparaissait entièrement de l'image extraordinaire; et quand, au lieu du rhomboïde, on plaçait devant la loupe une pile de glaces suffisamment inclinée dans ce sens, on ne distinguait plus que le groupe de gauche, qui se trouvait alors entièrement purgé du mélange des franges de droite, et présentait l'aspect ordinaire d'un groupe unique. En faisant l'expérience avec deux miroirs métalliques, et détruisant par une pile de trois ou quatre glaces convenablement inclinée la faible polarisation qu'ils impriment aux rayons réfléchis, avant leur introduction dans les lames, on trouve encore le même sens de polarisation pour chaque groupe de franges. Ainsi il est bien prouvé que dans un cas comme dans l'autre, les lames minces polarisent les rayons ordinaires et extraordinaires parallèlement et perpendiculairement à leur axe.

Après avoir démontré que l'hypothèse de la polarisation mobile est contredite par les faits, toutes les fois qu'on peut distinguer d'une manière quelconque les rayons ordinaires des rayons extraordinaires, je vais

maintenant m'occuper spécialement des phénomènes de coloration des lames cristallisées qui ont conduit M. Biot à cette hypothèse, et faire voir qu'elle n'est pas nécessaire à leur explication.

Coloration des lames cristallisées.

Quand un faisceau de lumière polarisée passe au travers d'un rhomboïde de spath calcaire dont la section principale est parallèle au plan de polarisation, on sait que l'image extraordinaire s'évanouit : elle reparaît quand on place devant le rhomboïde une plaque cristallisée douée de la double réfraction, et dont la section principale n'est ni parallèle ni perpendiculaire au plan primitif de polarisation ; son intensité devient même égale à celle de l'image ordinaire, lorsque cette section principale fait un angle de 45° avec le plan primitif. Dans ce cas comme dans les autres, les deux images sont blanches, si la plaque interposée est assez épaisse, si elle a, par exemple, au moins un demi-millimètre, pour le cristal de roche et le sulfate de chaux ; mais quand elle est plus mince, les deux images se colorent de teintes complémentaires, qui changent de nature avec l'épaisseur de la lame et varient seulement d'intensité, quand on la fait tourner dans son plan, en la laissant toujours perpendiculaire aux rayons incidens.

Cette brillante découverte, qui est due à M. Arago, a beaucoup occupé depuis plusieurs années tous les physiciens de l'Europe, et particulièrement MM. Biot, Young et Brewster, qui ont le plus contribué à faire connaître les lois de ces phénomènes. M. Biot a remarqué le premier que les couleurs des lames cristallisées suivaient, à l'égard de leurs épaisseurs, des lois analogues à celles des anneaux colorés, c'est-à-dire que les épaisseurs de deux lames cristallisées de même nature qui donnaient deux teintes quelconques, étaient entre elles comme les épaisseurs des lames d'air qui réfléchissent des teintes semblables dans les anneaux colorés. Peu de temps après la publication des beaux mémoires de M. Biot sur ce sujet, M. Young remarqua que la différence de marche entre les faisceaux ordinaire et extraordinaire qui sortent d'une lame cristallisée, était précisément égale à celle des rayons réfléchis à la première et à la seconde surface de la lame d'air qui donne la même

teinte, et que cette identité numérique se soutenait pour toutes les inclinaisons des rayons relativement à l'axe du cristal. Cette observation théorique d'une haute importance, et à laquelle on parut faire peu d'attention à l'époque où elle fût publiée, donnait cependant une nouvelle preuve de la généralité et de la fécondité du principe des interférences, en établissant la relation numérique la plus intime entre deux classes de phénomènes très-différentes, tant par la grande disproportion entre les épaisseurs des lames cristallisées et des lames d'air des anneaux colorés qui donnent les mêmes teintes, que par la diversité des circonstances nécessaires à leur production.

M. Young s'est borné à démontrer par ses calculs, que les couleurs des lames cristallisées devaient être attribuées à l'interférence des ondes ordinaires avec les ondes extraordinaires; il n'a pas expliqué dans quelles circonstances cette interférence pouvait avoir lieu, pourquoi il était nécessaire que la lumière reçût une polarisation préalable avant d'entrer dans la lame cristallisée et fut polarisée de nouveau après sa sortie; comment l'intensité des teintes variait avec les directions relatives du plan primitif de la section principale de la lame et celle du rhomboïde, etc. L'objet principal du mémoire que j'ai soumis à l'académie des sciences, le 7 octobre 1816, et du supplément que j'y ai joint dans le mois de janvier 1818, était d'expliquer l'influence de ces diverses circonstances, et de représenter es lois du phénomène par des formules générales qui donnassent pour chaque image l'intensité des diverses espèces de rayons colorés : je vais exposer maintenant cette théorie, en continuant à tirer de l'expérience les principes sur lesquels elle repose. Je supposerai que la lumière employée est homogène pour réduire les phénomènes à leur plus grand degré de simplicité.

Si, après avoir polarisé, par la réflexion sur une glace noircie à sa seconde surface, les rayons divergens partis d'un point éclairant, on les fait passer à travers deux rhomboïdes d'égale épaisseur, placés l'un devant l'autre et disposés de manière que leurs sections principales, étant perpendiculaires entre elles, soient en même temps

inclinées de 45° sur le plan de réflexion, on sait que les deux faisceaux produits par ces rhomboïdes accouplés ne peuvent donner des franges qu'autant qu'on les ramène à des plans communs de polarisation, à l'aide d'un troisième rhomboïde, ou d'une pile de glaces placée devant ou derrière la loupe. La direction la plus avantageuse de la section principale du troisième rhomboïde est celle qui fait un angle de 45° avec les sections principales des deux autres, parce qu'alors chacun des deux faisceaux qui sortent de ceux-ci se partagent également entre les images ordinaires et extraordinaires produites par le troisième rhomboïde; et cette égalité des deux systèmes d'ondes qui interfèrent dans chaque image, rend aussi sombres que possible les points de discordance complète. Ils seraient même parfaitement noirs, si la lumière employée était parfaitement homogène. L'appareil étant ainsi disposé, si l'on considère un point quelconque du groupe de franges, par exemple, celui qui en occupe le centre et répond à des chemins égaux parcourus par les deux faisceaux constituans de chaque image; on remarquera que c'est un maximum de lumière dans l'image ordinaire, lorsque la section principale du rhomboïde est parallèle au plan de la polarisation primitive, que je supposerai horizontal, pour fixer les idées, et que le même point est au contraire parfaitement noir dans l'image extraordinaire, c'est-à-dire que sa lumière y est réduite à zéro. Elle renaît quand on fait tourner le rhomboïde, et son intensité augmente à mesure que la section principale s'éloigne de la direction horizontale : quand celle-ci est inclinée de 45°, la lumière de ce point a autant d'intensité dans l'image extraordinaire que dans l'image ordinaire; enfin elle disparaît entièrement de l'image ordinaire, et atteint en même temps son maximum d'intensité dans l'autre, lorsque la section principale est verticale. On voit donc que *la lumière totale, réunie en ce point*, présente tous les caractères d'une polarisation complète suivant le plan horizontal. Si l'on considère maintenant le point qui répond à une différence d'un quart d'ondulation dans la marche des deux faisceaux, on reconnaîtra qu'il conserve toujours des intensités égales dans les deux images, quand on fait tourner le rhomboïde, et que sa lumière se com-

porte comme si elle avait été complétement dépolarisée. Que l'on passe maintenant au point qui répond à une différence d'une demi-ondulation entre les deux systèmes d'ondes, on le trouvera parfaitement noir dans l'image ordinaire et au maximum d'éclat dans l'image ext aordinaire, lorsque la section principale du rhomboïde est horizontale; et quand elle est verticale, il devient au contraire tout-à-fait obscur dans l'image extraordinaire et atteint son maximum d'éclat dans l'autre; ainsi la lumière totale réunie en ce point est polarisée verticalement. En continuant à parcourir les divers points d'interférence des deux faisceaux lumineux, on trouve en général que *leur réunion* produit une lumière polarisée complétement [1] suivant le plan horizontal, c'est-à-dire suivant le plan primitif de polarisation, lorsque leur différence de marche est nulle ou égale à un nombre pair de demi ondulations; que la lumière *totale* est polarisée verticalement, c'est-à-dire ici, suivant l'azimut $2i$, lorsque la différence de marche est un nombre impair de demi-ondulations; que la lumière totale est au contraire complétement dépolarisée lorsque cette différence est un nombre entier et impair de quarts d'ondulation; et qu'enfin dans tous les cas intermédiaires il n'y a qu'une polarisation partielle. Pour étudier commodément le genre de polarisation des diverses lignes d'accord ou de discor-

[1] Il n'y a de polarisation bien complète en apparence que dans les franges des trois premiers ordres; mais il est clair que si les milieux des bandes obscures et brillantes des autres ordres ne paraissent polarisés que partiellement, cela tient au défaut d'homogénéité de la lumière employée, qu'on ne peut simplifier davantage sans l'affaiblir beaucoup.

M. Arago a imaginé un moyen précieux d'augmenter considérablement l'intensité de la lumière dans les expériences de diffraction, et qui peut être avantageusement appliqué à celles dont nous nous occupons. Il consiste à substituer à la petite lentille qui forme le point lumineux, une lentille dont la surface n'est courbe que dans un seul sens, et qui produit alors à son foyer une ligne lumineuse au lieu d'un point; il faut avoir soin de tourner cette lentille cylindrique dans une direction parallèle à celle des franges, afin qu'elles aient toute la netteté possible; ce à quoi l'on parvient aisément par le tâtonnement en les regardant avec la loupe, tandis qu'une autre personne fait tourner lentement la lentille cylindrique. Les franges sont alors incomparablement plus brillantes que lorsqu'on emploie une lentille sphérique, parce que la lentille cylindrique ne fait diverger les rayons que dans un seul sens, et leur conserve ainsi beaucoup plus d'intensité.

dance, il faut fixer son attention sur celle qu'on veut observer, en y amenant le fil placé au foyer de la loupe du micromètre, ou mieux encore, en substituant à ce fil un écran percé d'une petite fente, qui ne laisse passer que la lumière de cette partie de la frange. La polarisation horizontale ou verticale des points d'accord ou de discordance complète cesse d'avoir lieu quand on intercepte un des faisceaux et qu'on ne reçoit dans la fente que la lumière de l'autre; alors elle se trouve polarisée comme celui-ci, c'est-à-dire suivant une direction inclinée de 45° sur le plan horizontal. Ainsi la polarisation suivant le plan primitif ou l'azimut $2i$ résulte de la réunion des deux faisceaux, et n'a plus lieu dans chaque faisceau pris séparément, qu'on trouve toujours polarisé parallèlement ou perpendiculairement aux sections principales des deux rhomboïdes, soit qu'on l'observe avec la loupe en interceptant l'autre, ou sans la loupe, ce qui permet alors de distinguer les deux points lumineux et d'étudier séparément le sens de polarisation de chacun, sans être obligé de cacher l'autre. La loupe, en empêchant la vision distincte des deux points lumineux par l'élargissement de leurs images, qui mêle leurs rayons au fond de l'œil, y reproduit les interférences qui avaient eu lieu à son foyer; voilà pourquoi elle est nécessaire à la vision des phénomènes d'interférence, lorsque les deux images du point lumineux ne se confondent pas, ou en d'autres termes, lorsque les deux systèmes d'ondes qui interfèrent font entre eux un angle sensible. On peut d'ailleurs s'assurer que la loupe ne produit pas ici d'autre effet, et qu'elle n'exerce aucune action polarisante appréciable, en regardant au travers un faisceau lumineux polarisé suivant une direction connue; car on verra que l'interposition de la loupe ne la change en rien. Ainsi la polarisation que nous venons d'observer dans le plan primitif et l'azimut $2i$, tient uniquement à la réunion des deux faisceaux sortant des rhomboïdes croisés.

Si, en laissant toujours leurs sections principales perpendiculaires entre elles, on fait tourner les deux rhomboïdes, on remarquera, dans toutes les positions du système, que les lignes des franges qui répondent à une différence de marche d'un nombre pair de demi-ondulations sont

polarisées parallèlement au plan primitif, que celles qui répondent à une différence d'un nombre impair de demi-ondulations le sont dans l'azimut $2i$, et qu'enfin les autres ne présentent qu'une polarisation partielle.

L'expérience des deux rhomboïdes nous offre le singulier exemple des rayons polarisés suivant deux plans rectangulaires, qui produisent par leur réunion de la lumière polarisée complétement dans une direction intermédiaire ; ce qui appuie encore l'hypothèse dont nous avons déjà parlé à l'occasion de la loi de Malus, et d'après laquelle les vibrations lumineuses s'exécuteraient dans une direction transversale, parallèlement ou perpendiculairement au plan de polarisation.

Les lames minces cristallisées présentent des phénomènes analogues dans les mêmes circonstances, c'est-à-dire lorsque les rayons ont été polarisés suivant un plan commun avant leur entrée dans la lame cristallisée, et que la différence de marche entre les deux systèmes d'ondes à leur sortie est égale à un nombre entier de demi-ondulations; quand ce nombre est pair, la lumière totale qui sort de la lame cristallisée se trouve polarisée suivant le plan primitif, quand il est impair elle est polarisée dans l'aimzut $2i$; ainsi, par exemple, si l'angle i est égal à 45°, c'est-à-dire si l'axe de la lame fait un angle de 45° avec le plan primitif, la lumière totale sera polarisée dans le premier cas suivant le plan primitif, à 45° de l'axe, et dans le second cas suivant l'azimut de 90°, ou, perpendiculairement au plan primitif; mais de ce que la lumière totale est ainsi polarisée, il n'en faut pas conclure que tel est aussi le sens de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires qui la composent, comme nous venons de le voir par l'expérience des deux rhomboïdes. Et en effet les circonstances du phénomène sont semblables; la seule différence, c'est que les deux systèmes d'ondes qui sortent de la lame cristallisée sont parallèles entre eux, tandis que ceux qui sortent des rhomboïdes se croisent sous un angle sensible; d'où résulte la nécessité d'employer un point lumineux et une loupe pour apercevoir les effets de leur interférence. Mais aussi, en raison de cette inclinaison, ils présentent à la fois toutes les différences de marche dans les divers

points du groupe de franges qu'ils produisent, et rassemblent ainsi dans un seul tableau tous les cas que peuvent offrir les lames cristallisées de différentes épaisseurs.

Mr Biot, guidé par la théorie de l'émission, ne pouvait soupçonner que de la lumière polarisée suivant un plan pût être composée de rayons polarisés suivant des directions différentes, et jugea naturellement du sens de polarisation des rayons ordinaires et extraordinaires qui sortaient de la lame cristallisée par celui de la lumière totale. C'est ce qui lui fit penser que ces rayons n'éprouvaient pas dans les lames cristallisées le même mode de polarisation que dans les cristaux assez épais pour diviser la lumière en deux faisceaux distincts. Mais ce n'est point une conséquence nécessaire du phénomène, puisque l'expérience des deux rhomboïdes démontre que les mêmes apparences sont produites par la réunion de deux faisceaux distincts polarisés parallèlement et perpendiculairement à la section principale du cristal; et cette hypothèse serait d'ailleurs en opposition avec d'autres faits, puisque nous avons trouvé toujours les rayons ordinaires et extraordinaires polarisés parallèlement et perpendiculairement à la section principale dans les lames cristallisées. Ainsi ce n'est pas aux rayons ordinaires ou extraordinaires considérés séparément qu'il faut appliquer ce que Mr Biot a dit sur le mode de polarisation de la lumière qui a traversé une lame cristallisée, mais à l'ensemble de ces rayons : encore est-il nécessaire de modifier la proposition énoncée par ce célèbre physicien, pour la rendre tout-à-fait exacte; car il semblerait, d'après la manière dont il s'exprime, que chaque espèce de rayons homogènes est toujours polarisée *en entier* ou dans le plan primitif ou dans l'azimut $2i$; or nous avons vu, par l'expérience des deux rhomboïdes, que ce n'est que dans des cas particuliers qu'elle présente cette polarisation *complète;* et l'expérience directe sur les lames cristallisées conduit au même résultat.

Tous les phénomènes que présentent les lames cristallisées sont faciles à expliquer et même à prévoir par les règles ordinaires du calcul des interférences et le petit nombre de lois particulières relatives à l'influence

mutuelle des rayons polarisés que nous avons déduites de l'expérience.

Les rayons polarisés à angle droit ne s'influencent pas ; voilà pourquoi les deux systèmes d'ondes qui sortent des lames cristallisées ne présentent immédiatement aucun effet de ce genre, alors même que la différence de marche est assez petite pour que ces effets dussent être très-apparens et produire dans la lumière blanche des couleurs très-vives.[1]

Il ne suffit pas que les rayons qui ont été polarisés à angle droit soient ramenés à un plan commun de polarisation, pour que cette influence mutuelle ait lieu ; il faut encore qu'ils aient été originairement polarisés suivant le même plan ; d'où résulte la nécessité d'employer de la lumière polarisée, quand on veut développer des couleurs dans les lames cristallisées.

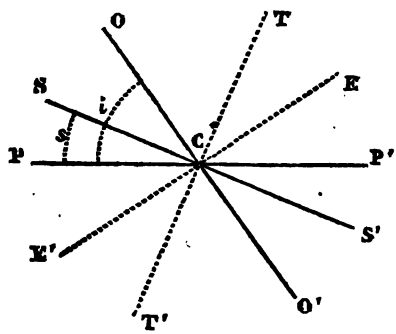
Nous avons vu aussi par l'expérience des rhomboïdes croisés, que lorsque deux faisceaux lumineux, partis originairement d'un même plan de polarisation, sont polarisés ensuite à angle droit, ils produisent deux images complémentaires en traversant le nouveau rhomboïde qui les ramène à des plans communs de polarisation ; car lorsque la bande centrale, par exemple, était noire dans l'image extraordinaire, elle se trouvait au maximum d'éclat dans l'image ordinaire, et la même opposition se faisait remarquer entre toutes les bandes brillantes et obscures des deux images. Les deux images que donne la lumière polarisée qui a traversé une lame mince cristallisée, doivent donc être aussi complémentaires. Il en résulte nécessairement que si l'une répond à la différence de marche des deux systèmes d'ondes sortant de la lame cristallisée, l'autre répond à la même différence augmentée ou diminuée d'une demi-ondulation, puisque lorsqu'il y a accord parfait dans l'une, il y a discordance complète dans l'autre.

---

[1] On doit se rappeler qu'il est nécessaire que la différence de marche ne comprenne qu'un petit nombre d'ondulations, pour que les différens degrés d'intensité qu'elle détermine dans les ondes de diverses longueurs occasionent une coloration sensible, ainsi que nous l'avons remarqué en expliquant la coloration des franges produites par deux miroirs et celle des anneaux réfléchis.

Voici la règle générale qui fait connaître pour laquelle des deux images, il faut ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus : *L'image dont la teinte correspond précisément à la différence des chemins parcourus, est celle dont les plans de polarisation des deux faisceaux constituans, après s'être écartés l'un de l'autre, se rapprochent ensuite par un mouvement contraire pour se réunir; tandis que les plans de polarisation des deux faisceaux constituans de l'image complémentaire continuent à s'éloigner l'un de l'autre (considérés d'un seul côté de leur commune intersection) jusqu'à ce qu'ils se soient placés sur le prolongement l'un de l'autre.*

Cette règle devient plus facile à entendre à l'aide de la figure 5, dans laquelle PP′ représente le plan primitif de polarisation des rayons incidens, OO′ la section principale de la lame cristallisée et SS′ celle du rhomboïde au travers duquel on la regarde.



On voit que la lumière incidente, d'abord polarisée suivant CP, se divise, en traversant la lame cristallisée, en deux parties, l'une qui éprouve la réfraction ordinaire et reçoit une nouvelle polarisation suivant CO, l'autre qui éprouve la réfraction extraordinaire et se trouve polarisée dans un plan CE′ perpendiculaire à CO. Représentons la première par F_o et la seconde par F_e. Le passage au travers du rhomboïde divise F_o polarisé suivant CO, en deux autres systèmes d'ondes, l'un polarisé suivant la section principale CS, que je représente par

$F_{o+o'}$, et le second polarisé suivant un plan perpendiculaire CT, que j'appelerai $F_{o+e'}$. De même F_e, polarisé suivant CE′, se divise dans le rhomboïde en deux systèmes d'ondes, le premier $F_{e+o'}$ polarisé suivant CS, et le second $F_{e+e'}$ polarisé suivant CT′. Si l'on suit le mouvement des plans de polarisation des deux faisceaux $F_{o+o'}$ et $F_{e+o'}$, qui concourent à la formation de l'image ordinaire, (en les considérant d'un seul côté de leur commune intersection projetée en C) on voit que, partis primitivement de CP, ils s'écartent l'un de l'autre pour prendre les directions CO et CE′, et se rapprochant ensuite se réunissent en CS. Or, dans ce cas l'image ordinaire répond précisément à la différence des chemins parcourus au même instant par les rayons ordinaires et extraordinaires sortis de la lame cristallisée. Si l'on suit de même la marche des plans de polarisation des deux faisceaux constituans de l'image extraordinaire $F_{o+e'}$ et $F_{e+e'}$, on voit que partis l'un et l'autre de CP, et après avoir pris dans la lame cristallisée les directions CO et CE′, au lieu de se rapprocher ensuite, ils continuent à s'écarter jusqu'à ce qu'ils se soient placés sur le prolongement l'un de l'autre dans les directions CT et CT′; ainsi, d'après la règle que nous venons de donner, il faut ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus par ces deux systèmes d'ondes, ou, ce qui revient au même, changer dans l'un d'eux les signes des mouvemens oscillatoires, pour calculer par la formule d'interférence le système d'ondes qui résulte de la réunion de ces deux faisceaux. On voit que les choses se passent absolument comme s'il s'agissait de la combinaison de forces dirigées dans le plan de la figure, c'est-à-dire perpendiculairement aux rayons, suivant leurs plans de polarisation, ou perpendiculairement à ces plans; car les composantes des deux forces CO et CE′, qui se réuniraient en CS, auraient le même signe, comme les deux faisceaux $F_{o+o'}$ et $F_{e+o'}$, qui s'y sont réunis, et les deux autres composantes CT et CT′, agissant en sens opposés, devraient être affectés de signes contraires.

Le principe de la conservation des forces vives indiquait d'avance que les deux images doivent être complémentaires l'une de l'autre ; mais il ne désignait pas laquelle des deux répond à la différence des chemins parcourus, et laquelle répond à la même différence augmentée d'une demi-ondulation ; c'est pourquoi j'ai eu recours aux faits, et j'ai déduit des expériences de M. Biot la règle que je viens d'énoncer. On peut également la déduire de l'expérience des deux rhomboïdes.

Elle explique pourquoi deux faisceaux de lumière directe qui ont été polarisés à angle droit, ne présentent aucune apparence d'influence mutuelle, lorsqu'on les ramène à un plan commun de polarisation par l'action d'une pile de glaces ou d'un rhomboïde de spath calcaire. Ce n'est pas qu'ils n'exercent alors aucune influence l'un sur l'autre ; car, indépendamment des considérations mécaniques, cette supposition serait trop contraire à l'analogie ; mais c'est que les effets produits par les différens systèmes d'ondes de la lumière directe se compensent et se neutralisent mutuellement. En effet, on peut concevoir la lumière directe comme l'assemblage, ou, plus exactement, la succession rapide d'une infinité de systèmes d'ondes polarisés dans tous les azimuts, et de telle sorte, qu'il y a toujours autant de lumière polarisée dans un plan quelconque que dans le plan perpendiculaire : or il résulte de la règle que nous venons d'énoncer, que si, par exemple, l'on doit ajouter une demi-ondulation à la différence des chemins parcourus pour calculer l'image extraordinaire produite par la lumière polarisée suivant le premier plan, il ne faut point l'ajouter pour l'image extraordinaire qui résulte de la lumière polarisée suivant le second ; en sorte que les deux teintes qu'elles apportent ensemble ou successivement dans l'image extraordinaire sont complémentaires. La compensation qui s'établit ainsi, et de la même manière pour tous les azimuts, empêche d'apercevoir les effets d'interférence.

Reprenons le cas représenté par la figure 5, où la lumière incidente a éprouvé une polarisation préalable suivant le plan PP′ avant de traverser la lame cristallisée, dont la section principale OO′ fait un angle i avec ce plan, et cherchons, pour une espèce particulière de lumière ho-

mogène d'une longueur d'ondulation égale à λ, quelles doivent être les intensités des images ordinaire et extraordinaire données par le rhomboïde de spath calcaire, dont la section principale SS′ fait un angle s avec le plan primitif PP′. Je ferai abstraction dans ce calcul de la perte de lumière occasionée par les réflexions partielles aux deux surfaces de la lame cristallisée et du rhomboïde, parce qu'elle n'a d'influence que sur les intensités absolues des images, et aucune sur leurs intensités relatives, les seules qui nous intéressent ici. Je représente par F l'intensité des vitesses des molécules éthérées dans leurs oscillations, pour le faisceau incident polarisé; son intensité de lumière sera représentée par F^2, ou l'intensité de la force vive, d'après le sens même qu'on attache à cette expression, et la manière dont on évalue les intensités de lumière dans toutes les expériences d'optique, puisque c'est la somme des forces vives, et non celle des vitesses d'oscillation, qui reste constante, comme l'intensité totale, dans les diverses subdivisions que la lumière peut éprouver. Cela posé, le faisceau incident, en traversant la lame cristallisée, se divise en deux autres, dont les intensités lumineuses doivent être égales, d'après la loi de Malus, à $F^2 \cos^2 i$, pour celui qui subit la réfraction ordinaire, et $F^2 \sin^2 i$, pour celui qui subit la réfraction extraordinaire; l'intensité des vitesses d'oscillation sera donc dans le premier, $F \cos i$, et dans le second, $F \sin i$. Ainsi la lumière incidente, en traversant la lame cristallisée, se divise en deux systèmes d'ondes, qu'on peut représenter de la manière suivante :

$$\cos i . F_o, \qquad \sin i . F_e.$$
$$\text{P.O}, \qquad \text{P.E}'.$$

Les petites lettres o et e, placées au bas de F, ne changent en rien la valeur de cette quantité; elles indiquent seulement la longueur des chemins parcourus au même instant par les rayons ordinaires et extraordinaires, après qu'ils sont sortis de la lame cristallisée, et déterminent ainsi, par leur différence $o - e$, l'intervalle qui sépare les points correspondans des deux systèmes d'ondes. Les majuscules P. O et P. E′, montrent la marche succes-

sive du plan de polarisation de chaque faisceau, pour faciliter l'application de la règle énoncée précédemment.

Chacun de ces deux systèmes d'ondes se divisera en deux autres, par l'action du rhomboïde de spath calcaire, ce qui produira en tout les quatre faisceaux suivans, dont les deux premiers sont produits par le premier système d'ondes, et les deux autres par le second :

$$\cos i \cos(i-s)\, F_{o+o'}, \quad \cos i \sin(i-s)\, F_{o+o'},$$
$$\text{P.O.S}, \qquad \text{P.O.T},$$
$$\sin i \sin(i-s)\, F_{e+o'}, \quad \sin i \cos(i-s)\, F_{e+o'}.$$
$$\text{P.E}'.\text{S}. \qquad \text{P.E}'.\text{T}'.$$

Le premier avec le troisième composent l'image ordinaire, et le second avec le quatrième, l'image extraordinaire. Calculons d'abord l'intensité de celle-ci.

On voit, d'après la marche des plans de polarisation indiquée par les majuscules placées sous chaque faisceau, que le second et le quatrième, ramenés à un plan commun de polarisation, doivent différer d'une demi-ondulation, indépendamment de la différence $o-e$ entre les chemins parcourus; il faut donc ajouter une demi-ondulation à $o-e$, ou, ce qui revient au même, changer le signe d'une des expressions qui représentent l'intensité ou le facteur commun des vitesses d'oscilation. Il s'agit donc de trouver la résultante de deux systèmes d'ondes dont la différence de marche est $o-e$ et les intensités des vitesses d'oscillation sont respectivement égales à

$$F.\cos i \sin(i-s), \quad \text{et} \quad -F.\sin i \cos(i-s).$$

En appliquant ici la formule générale que j'ai donnée dans l'Extrait de mon Mémoire sur la diffraction, page 258 du tome XI des Annales de chimie et de physique,

$$A^2 = a^2 + a'^2 + 2aa' \cos 2\pi \left(\frac{c}{\lambda}\right),$$

dans laquelle a et a' représentent les intensités des vitesses d'oscillation des deux systèmes d'ondes, 2π la circonférence dont le rayon est 1, c la différence des chemins parcourus, et λ la longueur d'ondulation; on

trouve pour l'intensité de la lumière homogène dans l'image extraordinaire :

$$F^2\left[\cos^2 i \sin^2 (i-s) + \sin^2 i \cos^2 (i-s)\right.$$

$$\left.-2\sin i \cos i \sin (i-s) \cos (i-s) \sin 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right],$$

ou

$$F^2\left[(-\cos i \sin (i-s) + \sin i \cos (i-s))^2\right.$$

$$\left.+ 2\sin i \cos i \sin(i-s)\cos (i-s)\left(1 - \cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right)\right],$$

ou enfin,

$$F^2\left[\sin^2 s + \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right],$$

En faisant un calcul semblable sur les deux faisceaux constituans de l'image ordinaire, et observant que les deux expressions $F . \cos i \cos (i-s)$, et $F . \sin i . \sin (i-s)$ doivent avoir le même signe, en raison de la marche des plans de polarisation, on trouve, pour l'intensité de la lumière dans l'image ordinaire :

$$F^2\left[\cos^2 s - \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)\right],$$

Voilà les formules générales qui donnent l'intensité de chaque espèce de lumière homogène dans les images ordinaire et extraordinaire, en fonction de sa longueur d'ondulation et de la différence des chemins parcourus o-e par les rayons qui ont traversé la lame cristallisée. Connaissant son épaisseur et les vitesses des rayons ordinaires et des rayons extraordinaires dans ce cristal, il sera facile de déterminer $o-e$. Dans le sulfate de chaux, le cristal de roche et la plupart des autres cristaux jouissant de la double réfraction, $o-e$ n'éprouve que de très-légères variations en raison de la différence de nature des rayons lumineux, en sorte qu'on peut le regarder comme une quantité constante, du moins pour les cristaux que nous considérons ici, où la *dispersion de double réfraction*

est très-petite relativement à la double réfraction. Si, après avoir calculé la différence de marche $o-e$, on la divise successivement par la longueur moyenne d'ondulation de chacune des sept principales espèces de rayons colorés, et si l'on substitue successivement ces différens quotiens dans les expressions ci-dessus, on aura les intensités de chaque espèce de rayons colorés dans les images ordinaire et extraordinaire, et l'on pourra déterminer alors les teintes de ces images à l'aide de la formule empirique que Newton a donnée pour trouver la couleur résultant d'un mélange quelconque de rayons divers dont on connaît les intensités relatives. C'est pourquoi l'on doit considérer les formules générales qui donnent l'intensité de chaque espèce de lumière homogène en fonction de sa longueur d'ondulation, comme l'expression même de la teinte produite par la lumière blanche. C'est du moins tout ce qu'on peut déduire à présent de la théorie, et pour le reste, il faut avoir recours à la construction empirique de Newton, qui s'accorde assez bien avec l'expérience, du moins quant aux principales divisions des couleurs.

Reprenons les formules ci-dessus, en supprimant le facteur commun F^2, qu'on peut prendre pour unité de lumière.

Image ordinaire. . . . . $\cos^2 s - \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

Image extraordinaire. . . $\sin^2 s + \sin 2i \sin 2(i-s) \sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$;

On voit à l'inspection de ces formules que les deux images doivent devenir blanches, lorsque le terme qui contient $\sin^2 \pi \left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$ s'évanouit, puisque c'est le seul qui varie avec la longueur d'ondulation, et qui rende l'intensité différente pour les divers rayons colorés. Ainsi les images deviendront blanches quand on aura

$$\sin 2i \sin 2(i-s) = 0;$$

équation à laquelle on satisfait en égalant à zéro

$$\sin. 2i, \quad \text{ou} \quad \sin 2(i-s),$$

ce qui donne pour i les quatre valeurs

$$i = 0, \quad i = 90°, \quad i = 180°, \quad i = 360°;$$

et pour s,

$$s = i, \quad s = 90° - i, \quad s = 180° - i, \quad s = 360° - i.$$

Il suffit donc, pour que les images deviennent blanches, qu'une de ces huit conditions soit satisfaite, c'est à-dire que la section principale de la lame cristallisée soit parallèle ou perpendiculaire au plan primitif de polarisation, ou à la section principale du rhomboïde; ce qu'on pouvait déduire aisément de la théorie sans le secours de la formule; car lorsque la section principale de la lame est parallèle ou perpendiculaire au plan primitif, la lumière incidente ne subit qu'une espèce de réfraction dans ce cristal, et lorsque cette section principale est parallèle ou perpendiculaire à celle du rhomboïde, chaque image ne contient que des rayons qui ont éprouvé la même réfraction dans la lame cristallisée; ainsi, dans un cas comme dans l'autre, chaque image ne contient qu'un seul système d'ondes; partant plus de couleurs, puisqu'il n'y a plus d'interférences.

Les deux images sont au contraire colorées l'une et l'autre avec le plus de vivacité possible, quand le coefficient du terme variable est égal à l'unité; ce qui arrive lorsque $s=0$ et $i=45°$; alors les deux expressions deviennent :

Image ordinaire $1 - \sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$ ou $\cos^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$,

Image extraordinaire. . . . . $\sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right)$.

Il est à remarquer que la seconde expression est semblable à celle qui donne, pour les anneaux colorés, la résultante des deux systèmes d'ondes réfléchies sous l'incidence perpendiculaire à la première et à la seconde surface de la lame d'air, lorsque son épaisseur est égale à $\frac{1}{2}(o-e)$, ce qui rend la différence des chemins parcourus égale à $o-e$. En effet, représentons par $\frac{1}{2}$ l'intensité d'oscillation de chaque système d'ondes, et remarquons que

leurs vitesses d'oscillation doivent être prises avec des signes contraires, parce que l'un est réfléchi en dedans du milieu le plus dense et l'autre en dehors, ce qui entraîne l'opposition de signe, comme nous l'avons remarqué précédemment en expliquant le phénomène des anneaux colorés. Cela posé, on trouve pour l'intensité de la lumière résultante, d'après la formule que nous avons déjà employée :

$$\tfrac{1}{4}+\tfrac{1}{4}-2\cdot\tfrac{1}{2}\cdot\tfrac{1}{2}\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right) \text{ ou } \tfrac{1}{2}-\tfrac{1}{2}\cos 2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right),$$

ou enfin $$\sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right).$$

Ainsi les teintes de l'image extraordinaire produites par les lames cristallisées doivent être semblables à celles des anneaux réfléchis, comme les observations de M. Biot l'avaient démontré, [1] du moins tant que la différence de marche $o-e$ produite par le cristal ne varie pas sensiblement avec la nature des rayons; car, dans les anneaux colorés, cette différence de marche étant le double de l'épaisseur de la lame d'air sous l'incidence perpendiculaire, est rigoureusement la même pour toutes les espèces de rayons.

Les expressions ci-dessus,

$$\cos^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right), \quad \text{et} \quad \sin^2\pi\left(\frac{o-e}{\lambda}\right),$$

qui donnent les intensités respectives des images ordinaire et extraordinaire dans une lumière homogène dont la longueur d'ondulation est λ, lorsque l'axe de la lame cristallisée fait un angle de 45° avec le plan primitif de

[1] Les formules que M. Biot a fondées sur cette ressemblance représentent avec une grande fidélité les couleurs produites par une seule lame. Au lieu de donner immédiatement les intensités de chaque espèce de rayons colorés, comme celles que nous venons de calculer, elles renvoient à la table de Newton sur les teintes des anneaux réfléchis, et elles indiquent en même temps la proportion de lumière blanche qui doit se joindre à ces teintes, en raison des directions relatives du plan primitif, de la section principale de la lame et de celle du rhomboïde de spath calcaire.

axes des molécules lumineuses se renouent dans le passage d'une lame à une autre dont la section principale fait un angle quelconque avec celle de la première. Aussi l'hypothèse de M. Biot ne lui a-t-elle fourni le moyen de déterminer tous les coefficiens de ses formules pour deux lames superposées que dans des cas très-particuliers, et même il en est un où ses formules ne représentent pas les faits avec exactitude, comme j'en ai été averti par les miennes; c'est celui où deux lames de même nature et de même épaisseur ont leurs axes croisés à 45°. On trouvera la discussion de ce cas particulier et les formules générales des teintes données par deux lames, dans la seconde note jointe au rapport de M. Arago, sur mon Mémoire, page 267 du tome XVII des Annales de chimie et de physique.

J'ai fait voir dans la même note qu'on pourrait expliquer de la manière la plus simple les principales propriétés de la lumière polarisée, la loi de Malus et les caractères singuliers de la double réfraction, en supposant que, dans les ondes lumineuses, les oscillations des molécules s'exécutent perpendiculairement aux rayons et à ce que nous avons appelé le plan de polarisation. En adoptant cette hypothèse, il serait plus naturel de donner ce nom au plan suivant lequel se font les oscillations; mais je n'ai rien voulu changer au sens des expressions reçues. Cette hypothèse, indiquée particulièrement par les lois que nous avons remarquées, M. Arago et moi, dans les interférences des rayons polarisés, fait voir comment ces lois résultent nécessairement de la nature même des ondes lumineuses; en sorte que les formules que je viens de donner pour les lames cristallisées, ainsi que celles qui représentent les phénomènes de la diffraction, de la réflexion, de la réfraction et des anneaux colorés, reposent maintenant sur une supposition unique; car elle s'accorde aussi-bien que celle que nous avions adoptée d'abord, avec les calculs d'interférences qui nous ont servi à expliquer les lois de ces phénomènes; puisqu'il est indifférent dans ces calculs, ainsi que nous l'avons remarqué dès le commencement, que les mouvemens oscillatoires s'exécutent parallèlement ou perpendiculairement aux rayons, pourvu qu'ils aient la même direction

dans les ondes qui interfèrent. D'après cette nouvelle hypothèse, la lumière ordinaire est la réunion ou plutôt la succession rapide d'une infinité d'ondes polarisées dans toutes sortes de directions ; et l'acte de la polarisation ne consiste plus à créer des mouvemens transversaux, qui existent déjà dans la lumière ordinaire, mais à les décomposer suivant deux plans rectangulaires invariables, et à séparer les uns des autres les systèmes d'ondes polarisés dans ces deux sens, soit par la direction de leurs rayons, soit simplement par leur différence de vitesse.

L'expérience et le principe des interférences nous ont appris que lorsqu'un faisceau lumineux polarisé se trouve divisé en deux systèmes d'ondes d'égale intensité, polarisés suivant des directions rectangulaires et séparés par un intervalle d'un quart d'ondulation, il présente, dans la réunion de ces deux systèmes d'ondes, les apparences d'une dépolarisation complète, c'est-à-dire, que la lumière totale, analysée avec un rhomboïde de spath calcaire, donne toujours des images égales en intensité, dans quelque sens qu'on tourne sa section principale. La lumière ainsi modifiée, ressemble en cela à la lumière directe ; mais elle en diffère par des propriétés optiques très-curieuses, qui font l'objet principal d'un autre mémoire que j'ai soumis à l'Académie des Sciences, le 24 novembre 1817.

Modification que la réflexion imprime à la lumière polarisée.

J'ai trouvé que la double réflexion complète dans l'intérieur du verre sous une inclinaison de 50° environ comptés de la normale à la surface, faisait éprouver ce genre de modification à la lumière incidente, lorsque celle-ci avait été primitivement polarisée dans un azimut de 45° relativement au plan de réflexion ; c'est-à-dire, que la lumière réfléchie était alors composée de deux systèmes d'ondes égaux, polarisés à angle droit et différant d'un quart d'ondulation. Cette lumière réfléchie, qui ne présente plus aucune trace de polarisation quand on l'analyse avec un rhomboïde de spath calcaire, jouit cependant, comme la lumière polarisée, de la propriété de développer de très-vives couleurs dans les lames minces cristallisées ; mais ces couleurs sont d'une autre nature. Elle diffère encore de la lumière polarisée en ce qu'elle ne développe pas sensiblement de couleurs dans

l'essence de térébenthine et les plaques de cristal de roche taillées perpendiculairement à l'axe. Quand on lui fait éprouver de nouveau deux réflexions complètes sous la même incidence et suivant le même plan ou une direction perpendiculaire, elle reprend tous les caractères et toutes les propriétés de la lumière polarisée ordinaire ; quand on lui fait éprouver deux nouvelles réflexions semblables dans les mêmes directions, elle est complétement dépolarisée, et recouvre en même temps les autres propriétés que lui avaient données les deux premières réflexions, et ainsi de suite. Je n'entrerai pas dans de plus amples détails sur cette singulière modification de la lumière, qui se trouve imprimée à la fois à toutes les espèces de rayons, comme la polarisation elle-même, et sous ce rapport, présente des propriétés aussi générales. Je me contenterai de dire que c'est la nature des teintes que la lumière ainsi modifiée développe dans les lames cristallisées qui m'a fait reconnaître qu'elle était composée de deux systèmes d'ondes polarisés à angle droit et différant d'un quart d'ondulation ; et qu'en partant de ce fait, je suis parvenu facilement à expliquer et à calculer les phénomènes variés qu'elle présente, à l'aide des mêmes principes dont nous venons de nous servir pour calculer les teintes produites par la lumière polarisée ordinaire.

Avant de découvrir ces modifications imprimées par la réflexion complète à la lumière polarisée, j'avais étudié celles que produit la réflexion partielle à la surface extérieure des corps transparens, et j'avais reconnu que la lumière n'est alors jamais dépolarisée, même partiellement, quelle que soit l'inclinaison des rayons et l'azimut du plan d'incidence relativement au plan primitif, et qu'il n'en résulte qu'une simple déviation du plan de polarisation. La nouvelle hypothèse que j'ai adoptée sur la constitution des ondes lumineuses m'a indiqué la loi de ces déviations, que j'avais vainement cherchée jusqu'à présent en essayant de la représenter par des formules empiriques. Elles s'accordaient bien avec les faits dans les trois cas principaux des rayons parallèles à la surface, de l'incidence perpendiculaire et de celle de la polarisation complète, mais ne les représentaient plus fidèlement dans les incidences in-

termédiaires. La formule à laquelle j'ai été conduit en dernier lieu par des considérations théoriques, et qu'on trouvera dans une addition à la note dont j'ai déjà parlé, page 312 du tome XVII des Annales de chimie et de physique, paraît exprimer la loi du phénomène, si l'on en juge par son accord avec les observations. Je l'ai déduite des formules générales d'intensité de la lumière réfléchie, que ces considérations m'ont fait découvrir, et que j'ai aussi données dans la même note.

Je bornerai ici cet extrait de mes mémoires, et je passerai sous silence les recherches théoriques et expérimentales que j'ai faites sur les phénomènes de polarisation découverts par M. Biot dans certains liquides homogènes, tels que l'essence de térébenthine, l'essence de citron, etc. J'ai cru devoir me borner à exposer les propriétés les plus générales de la lumière et les faits élémentaires, si je puis m'exprimer ainsi, c'est-à-dire ceux qui reviennent le plus fréquemment, et dont les autres ne sont en quelque sorte que des combinaisons plus ou moins complexes. J'ai montré comment la théorie des ondulations pouvait les expliquer et fournir les moyens d'en représenter les lois par des expressions analytiques. Pour calculer les phénomènes si variés de la diffraction, celui des anneaux colorés produits par une mince lame d'air ou d'eau ou de tout autre milieu réfringent; la réfraction même, dans laquelle le rapport du sinus d'incidence au sinus des rayons réfractés est précisément celui des longueurs d'ondulation dans les deux milieux; les couleurs et les singuliers modes de polarisation que présentent les lames cristallisées, il suffit de connaître les diverses longueurs d'ondulation de la lumière dans les milieux qu'elle traverse; c'est la seule quantité qu'on soit obligé d'emprunter à l'expérience, et elle est la base de toutes les formules. Si l'on fait attention à ces relations intimes et multipliées que la théorie des ondulations établit entre les phénomènes les plus différens, on doit être frappé à la fois de sa simplicité et de sa fécondité, et convenir que lors même qu'elle n'aurait pas sur le système de l'émission l'avantage d'expliquer plusieurs faits absolument inconcevables dans celui-ci, elle mériterait déjà la préférence par les

moyens qu'elle donne de lier entre eux tous les phénomènes de l'optique en les embrassant dans des formules générales.

Sans doute il reste encore beaucoup de points obscurs à éclaircir, surtout ceux qui tiennent à l'absorption de la lumière, tels que la réflexion sur les surfaces métalliques et les corps noirs, le passage de la lumière à travers les milieux imparfaitement transparens et les couleurs propres des corps. Il est probable que dans ces différens cas une partie de la lumière se trouve dénaturée et changée en vibrations calorifiques, qui ne sont plus sensibles pour nos yeux, parce qu'elles ne peuvent plus en pénétrer la substance ou faire vibrer le nerf optique à leur unisson, en raison des modifications qu'elles ont éprouvées. Mais la quantité totale de force vive doit rester la même, à moins que l'action de la lumière n'ait produit un effet chimique ou calorifique assez puissant pour changer l'état d'équilibre des particules des corps et avec lui l'intensité des forces auxquelles elles sont soumises; car on conçoit que si ces forces s'affaiblissaient tout à coup, il en résulterait une diminution subite dans l'énergie des oscillations des particules du corps échauffé, et par conséquent une absorption de chaleur, pour me servir de l'expression usitée. C'est peut-être ainsi que les choses se passent quand un solide se liquéfie ou quand un liquide se vaporise.

Si la lumière n'est qu'un certain mode de vibrations d'un fluide universel, comme les phénomènes de la diffraction le démontrent, on ne doit plus supposer que son action chimique sur les corps consiste dans une combinaison de ses molécules avec les leurs, mais dans une action mécanique que les vibrations de ce fluide exercent sur les particules pondérables, et qui les oblige à de nouveaux arrangemens, à de nouveaux systèmes d'équilibre plus stables, pour l'espèce ou l'énergie des vibrations auxquelles elles sont exposées. On voit combien l'hypothèse que l'on adopte sur la nature de la lumière et de la chaleur peut changer la manière de concevoir leurs actions chimiques, et combien il importe de ne pas se méprendre sur la véritable théorie, pour arriver enfin à la découverte des principes de la mécanique molécu-

laire, dont la connaissance jetterait un si grand jour sur toute la chimie. Si quelque chose doit contribuer puissamment à cette grande découverte, et révéler les secrets de la constitution intérieure des corps, c'est l'étude approfondie des phénomènes de la lumière.

DE LA CHALEUR.

Théorie.

MM. Petit et Dulong ont entrepris, sur plusieurs points importans de la théorie de la chaleur, des recherches, dans lesquelles ils se sont proposé d'appliquer à l'étude des phénomènes de la chaleur les considérations que suggère la théorie des proportions chimiques, relativement à la constitution des corps. Ce rapprochement les a conduits à découvrir des relations très-simples entre des propriétés dont on n'avait point encore aperçu la liaison. MM. Petit et Dulong se sont d'abord particulièrement occupés des chaleurs spécifiques; ils ont remarqué que les procédés le plus ordinairement employés pour la mesure des capacités, comme l'immersion des corps dans l'eau, ou la fusion de la glace, quoique assez exacts, lorsqu'ils sont mis en pratique avec les précautions convenables, ont cependant l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'une masse de matière beaucoup plus considérable que celle dont on peut ordinairement disposer, et cette observation les a déterminés à perfectionner la méthode fondée sur la comparaison du temps de refroidissement, méthode employée depuis long-temps avec succès par plusieurs physiciens; mais pour qu'elle pût s'appliquer indistinctement à toutes les substances solides, il fallait modifier les conditions du refroidissement, de manière à se garantir des erreurs qui pouvaient résulter du peu de conductibilité de certaines substances, surtout quand on ne peut les obtenir que sous la forme pulvérulente. MM. Petit et Dulong y ont réussi, en réduisant à de très-petites dimensions le volume soumis à l'expérience, en diminuant l'énergie du rayonnement par une enveloppe métallique polie, et en supprimant presque entièrement la perte due au contact de l'air en opérant dans le vide. MM. Petit et Dulong observent d'ailleurs que la théorie était évidemment insuffisante pour donner une notion positive de

la valeur de ce procédé, appliqué à telle substance en particulier, et que le seul moyen d'en connaître l'exactitude était de comparer les déterminations auxquelles il conduit avec celles que fournit le calorimètre ou la méthode des mélanges. Ce n'est qu'après un grand nombre de vérifications semblables, pour les cas les plus défavorables, que MM. Petit et Dulong se sont livrés avec sécurité à l'emploi du nouveau procédé.

Le tableau suivant renferme les capacités de treize corps simples, déterminées par ce moyen, la capacité de l'eau étant prise pour unité :

Soufre	0,1880
Cobalt	0,1498
Fer	0,1100
Nickel	0,1035
Cuivre	0,0949
Tellure	0,0912
Zinc	0,0927
Argent	0,0557
Étain	0,0514
Platine	0,0335
Or	0,0298
Plomb	0,0293
Bismuth	0,0288

Ces nombres, qui indiquent les rapports des capacités pour un même poids de différentes substances, ne laissent apercevoir aucune loi ; mais si l'on remonte aux chaleurs spécifiques des particules matérielles, il est impossible de méconnaître la relation simple qu'elles ont entre elles.

Pour passer des quantités précédentes aux chaleurs spécifiques des atomes, il faudrait les diviser par le nombre des particules contenu dans un même poids de chaque substance : or il est clair que ces nombres de particules sont des poids égaux de matière réciproquement proportionnels aux densités des atomes. On peut donc arriver au résultat cherché, en multipliant chacune des capacités déduites de l'expérience par le poids de l'atome correspondant. Ces divers produits se trouvent réunis dans le tableau suivant.

Produits des poids de chaque atome par la capacité correspondante.

Soufre	3780
Cobalt	3685
Fer	3731
Nickel	3819
Cuivre	3755
Tellure	3675
Zinc	3736
Argent	3759
Étain	3779
Platine	3740
Or	3704
Plomb	3794
Bismuth	3830

Ces produits, qui expriment les capacités des atomes de différente nature, approchent tellement d'être égaux entre eux, qu'il est impossible que les différences qu'on y remarque ne tiennent pas aux erreurs inévitables, soit dans la mesure des capacités, soit dans les analyses chimiques qui ont servi de base au calcul. MM. Petit et Dulong en concluent donc la loi suivante : *Les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur.*

Ces savans ont aussi déterminé, par leur procédé, les capacités d'un assez grand nombre de combinaisons chimiques. Mais quand on cherche à remonter à la capacité des atomes composés, on se trouve bientôt arrêté par le nombre de suppositions, également vraisemblables, entre lesquelles il faut choisir. En effet, si, jusqu'à présent, la fixation du poids spécifique des atomes simples n'a pu être soumise à une règle certaine, à bien plus forte raison celle du poids des atomes composés a-t-elle été déduite de suppositions purement arbitraires. MM. Petit et Dulong, au lieu d'ajouter leurs propres conjectures à celles qui ont déjà été avancées sur ce sujet, aiment mieux attendre que le nouvel ordre de considérations, qu'ils vien-

nent de présenter, ait pu être appliqué à un assez grand nombre de corps, et dans des circonstances assez variées, pour que l'opinion qu'ils adopteront puisse être fondée sur des raisons décisives. Ils se bornent à dire qu'en faisant abstraction de toute supposition particulière, leurs observations tendent à établir cette loi remarquable; savoir : qu'il existe toujours un rapport simple entre la capacité des atomes composés et celles des atomes simples. MM. Petit et Dulong partent de ce fait pour combattre la théorie généralement admise sur la production de la chaleur dans les phénomènes chimiques : ils font voir que cette théorie se réduit à de pures assertions dénuées de preuves, qu'il est impossible d'ailleurs de concilier avec les résultats qu'ils ont obtenus, et qui viennent d'être présentés. Ils pensent que la plus grande partie de la chaleur, développée dans les phénomènes chimiques, est due à la même cause qui produit l'incandescence des corps placés entre les deux pôles d'une pile voltaïque; et ils présentent quelques conjectures sur l'utilité dont peuvent être les considérations qu'ils exposent pour les progrès ultérieurs de plusieurs théories physiques. [1]

Dilatation des gaz.

Si l'on considère que la dilatation des gaz a lieu d'une manière égale, c'est-à-dire, que la même addition de chaleur produit dans le corps la même augmentation de volume, il résulte des expériences qui ont été faites sur les liquides et les solides, que dans tous ces corps, le terme d'expansion s'accroît avec la température. Les solides et les liquides sont composés de molécules qui ont ensemble de la cohérence en s'attirant entre elles, et sont maintenues à l'état d'union en vertu d'une certaine force. La chaleur agit donc sur ces molécules de deux manières à la fois; 1° elle opère leur séparation à une plus grande distance les unes des autres; 2° par cette séparation, l'attraction de cohésion est rendue de plus en plus faible, jusqu'à ce qu'enfin elle soit totalement surmontée, ou changée en répulsion. Or il est évident que l'effet d'expansion produit par la chaleur sur ces corps, doit s'accroître en proportion de ce que l'attraction de cohésion devient plus faible. Ce résultat semble expliquer

[1] Annales de chimie et de physique, tome x, page 395.

pourquoi le degré d'expansion dans ces corps augmente avec la température, et pourquoi chaque corps suit une progression qui lui est propre. Mais si cette explication était exacte, les corps, dont l'attraction de cohésion est la plus faible, doivent être ceux qui se dilatent le plus. On ne peut déterminer s'il en est effectivement ainsi, tant que nous n'aurons pas acquis plus de connaissance que nous n'en avons actuellement sur la force d'attraction ou de cohésion dans des corps différens. [1]

Termes d'ébullition de l'eau à différentes hauteurs du baromètre.

Millimètres.	Échelle centigrade.
660,40	96°
673,10	96,59
683,10	97,04
698,50	97,52
711,20	98
724,90	98,50
736,60	98,99
749,30	99,48
762	100
774,70	100,49
787,40	100,98

Pesanteur spécifique de la vapeur d'eau.

Lorsque les fluides élastiques, provenant de liquides ainsi convertis par la chaleur, ne sont point en contact avec ceux des liquides qui les ont produits, ils éprouvent précisément la même augmentation de volume que l'air, lorsqu'il est soumis à un changement semblable de température. Mais lorsque le fluide élastique se trouve en contact avec le liquide d'où il est provenu, la pesanteur spécifique des vapeurs augmente avec l'élasticité. Il paraîtrait, d'après les expériences de M. Sharpe et de M. Sou-

[1] Traduit de la sixième édition du Système de chimie de Thomson, vol. 1, pag. 29. En parlant, dans cette édition, de la dilatation du mercure, du verre, du fer, du cuivre et du platine, l'auteur anglais cite, comme les plus récentes, et peut-être comme les plus exactes parce qu'elles ont été faites d'une manière qui semble jusqu'à présent susceptible d'une plus grande précision, les expériences de MM. Petit et Dulong sur la mesure de la dilatation de ces corps à différentes températures. Les tables que M. Thomson relate à ce sujet dans cette sixième édition font partie du travail de ces deux savans sur la mesure des températures et sur les lois de la communication de la chaleur, travail déjà présenté dans l'appendix qui termine la traduction française de la précédente édition. R.

thern, que l'augmentation de pesanteur spécifique est proportionnelle à l'élasticité. En supposant qu'il en est effectivement ainsi, la table qui suit présentera la pesanteur spécifique de la vapeur d'eau à différentes températures, lorsque cette vapeur est en contact avec l'eau chaude qui lui a donné naissance, la pesanteur spécifique de l'air étant 1,000. [1]

Température centigrade.	Pesanteur spécifique de la vapeur d'eau.
100°	0,4545
121,3	0,9090
134,1	1,8180
173,1	3,6360

La vapeur de l'eau étant employée comme force motrice dans la machine à vapeur, la détermination de son élasticité à différentes températures devient d'une grande importance; car c'est la connaissance de cette élasticité qui pourra mettre les constructeurs de machines à vapeur en état de se guider sûrement relativement à la température, à laquelle il peut être fait le plus économiquement usage de la vapeur, et de calculer la force qu'il doit convenir de donner aux vaisseaux, lorsqu'on fait agir cette vapeur à des températures élevées.

Ce fut le professeur John Robison d'Edimbourg, qui fit le premier, sur cet objet, une suite d'expériences approchant de la vérité. Il en présenta, vers l'an 1797, l'exposé, dans la troisième édition de l'*Encyclopedia britannica*, article *Steam*. M. Dalton publia, en 1802, sur le même sujet, *Manchester Memoirs*, V. 559, une série d'expériences encore plus exactes. Il détermina, par expérience, l'élasticité de la vapeur d'eau de 0 à 100 degrés centigrades; mais les élasticités au-dessous de zéro et au-dessus de 100 degrés, furent déduites de celles trouvées par expérience, d'après la marche d'accroissement qu'il observa que ces élasticités

[1] Traduit de la sixième édition, vol. 1, page 59. L'auteur y cite, savoir : pour les expériences de M. Sharpe, *Manchester, Memoirs, second series*, n° 1, et, pour celles de M. Southern, les articles *Steam and*, *Steam-engines*, *Encyclopedia britannica*, par Robison, avec notes de James Watt, page 163.

suivaient. Malheureusement l'application de formules empiriques ne donne jamais les résultats qui peuvent en dépendre, à moins qu'elles ne soient restreintes dans les limites des expériences. Le docteur Ure, de Glascow, fit, en 1816, sur le même sujet, une suite d'expériences dirigées avec beaucoup de soin, dont le résultat présente dans les Transactions philosophiques pour 1818, un appendix à l'édition de M. Watt, des articles *Steam* et *Steam engines* du professeur Robison.

Le docteur Ure ayant poussé ses essais jusqu'au 155e degré centigrade, il y a tout lieu d'en conclure que ses résultats se rapprochent beaucoup plus de la vérité, à de hautes températures, que ceux présentés par M. Dalton. Le mode adopté par le docteur Ure, pour ses expériences, était ingénieux et susceptible de précision. Enfin, M. Southern avait fait aussi, en 1803, des expériences sur les élasticités de la vapeur d'eau à des températures encore plus élevées que celles auxquelles le docteur Ure avait pu atteindre; et par conséquent, ces expériences, qui paraissent avoir été faites avec beaucoup de sagacité, sont d'une très-grande importance.

La table qui suit présente les résultats des expériences du professeur Robison, du docteur Ure, et de M. Southern.

TEMPÉRATURE centigrade.	FORCE DE LA VAPEUR EN MILLIMÈTRES DE MERCURE.		
	ROBISON.	URE.	SOUTHERN.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.
0°	0,0	5,08	4,06
4,44	2,54	8,89	»
5,55	»	»	5,84
10	5,08	9,14	»
11,11	»	»	8,89
12,77	»	10,56	»
15	8,89	13,10	»
16,11	»	»	13,20

TEMPÉRATURE centigrade.	FORCE DE LA VAPEUR EN MILLIMÈTRES DE MERCURE.		
	ROBISON.	URE.	SOUTHERN.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.
21°11	13,97	18,44	»
22,22	»	»	18,54
23,90	»	21,84	»
26,66	20,82	25,65	»
27,77	»	»	25,90
29,44	»	29,71	»
32,22	29,97	34,64	»
33,33	»	»	36,06
35	»	41,65	»
37,77	40,64	48,24	»
38,88	»	»	49,78
40,55	53,34	»	»
43,33	57,15	62,38	»
44,44	»	»	52,47
46,11	»	71,37	»
48,88	76,20	83,82	»
50	»	»	90,93
51,66	»	98,55	»
54,44	100,33	110,89	»
55,55	»	»	119,63
57,22	»	128,77	»
60	130,81	146,55	»
61,11	»	»	154,94
62,77	»	167,64	»
65,55	170,68	191,30	»
67,77	»	»	200,66
68,33	»	215,90	»
71,11	219,71	243,80	»
72,22	»	»	255,27
73,88	»	274,32	»
76,66	280,67	306,07	»
77,77	»	»	323,08
79,44	»	344,17	»
82,22	356,87	385,06	»
83,33	»	»	406,40
85	»	429,26	»
87,77	443,23	476,60	»

TEMPÉRATURE centigrade.	FORCE DE LA VAPEUR EN MILLIMÈTRES DE MERCURE.		
	ROBISON.	URE.	SOUTHERN.
	millimètres.	millimètres.	millimètres.
88,88	»	»	509,01
90,55	»	535,94	»
93,33	574,54	599,44	»
94,44	»	»	625,09
96,11	»	637,86	»
98,88	727,71	733,55	»
100	»	»	762
102,30	»	848,56	»
104,44	909,32	902,71	»
105,30	»	932,18	»
107,22	»	993,39	»
108	»	1018,54	»
110	1130,30	1094,74	»
110,30	»	1104,90	»
112,50	»	1188,72	»
112,77	»	1198,38	»
114,72	»	1277,62	»
115,55	1394,46	1313,18	»
116,66	»	1361,44	»
118,33	»	1431,03	»
120,28	»	1534,16	»
121,11	1696,72	1572,26	1524
123,88	»	1707,35	»
126,66	2029,62	1836,42	»
129,44	»	1981	»
132,22	2390,14	2192,02	»
135	»	2374,39	»
138,66	2689,86	2588,26	»
140,66	»	2849,88	»
143,33	»	3051,81	»
145,22	»	»	3048
146,11	»	3276,60	»
148,88	»	3548,38	»
151,66	»	3824,24	»
154,44	»	4096,02	»
155,55	»	4222,75	»
173,11	»	»	6096

Le professeur Robison fit usage, pour ses expériences, d'un digesteur. La mesure des températures fut prise au moyen d'un thermomètre, et l'élasticité de la vapeur d'eau était indiquée par l'élévation ou la dépression d'une colonne de mercure contenu dans un tube attaché au digesteur. Les expériences étant ainsi conduites, il n'était pas possible d'observer l'élasticité de la vapeur de l'eau à zéro. Dans toutes ces expériences du professeur Robison, les élasticités au-dessous de 100 degrés centigrades semblent toutes trop faibles; et au-dessus de ce terme, elles sont toutes plus élevées que celles établies par le docteur Ure et par M. Southern. M. Thomson est disposé à attribuer cette dernière différence à quelque inexactitude dans le thermomètre employé; au moins il est difficile d'en rendre autrement raison. Expériences du professeur Robison.

M. Dalton fit ses expériences dans des tubes barométriques exactement vidés d'air; ayant rempli le tube de mercure récemment bouilli, il faisait passer un peu d'eau à l'extrémité supérieure du tube. Après avoir alors marqué la hauteur de la colonne de mercure, et divisé le tube, au moyen d'un fil, en centimètres et millimètres, il entourait l'eau, à l'extrémité de ce tube, d'une colonne d'eau de températures différentes, et il jugeait, par l'abaissement de la colonne de mercure, du degré d'élasticité de la vapeur d'eau à ces températures. M. Dalton put, au moyen de trois expériences, construire la table qui suit: Expériences de M. Dalton.

Température centigrade.	Force de la vapeur en millimètres du mercure.	Rapports.
0°	5,08	
50.	88,90	17,50
100.	762,00	8,57

Par rapport, ou raison, on entend le quotient qu'on obtient en divisant 88,90 par 5,08, ou 762,00 par 88,90. Il se présente ici quelque chose de semblable à une progression géométrique; mais la raison, au lieu d'être constante, diminue graduellement. Pour acquérir quelque notion sur la marche de cette diminution, M. Dalton détermina la force de la vapeur aux températures de 25

et 75 degrés centigrades, la différence entre ces deux termes étant la même qu'entre ceux 0 et 50, et 50 et 100 degrés centigrades; et, au moyen de ces déterminations, il fut en état de former la table suivante :

Température centigrade.	Force de la vapeur en millimètres du mercure.	Rapports.
0°	5,08	
		4,550
25	23,11	
		3,846
50	88,90	
		3,214
75	285,75	
		2,666
100	762,»	

Deux subdivisions de plus fournirent à M. Dalton la table ci-après :

Température centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	Rapports.	Taux du décroissement.
0°	9,08		
		1,485	
6,53	7,54		
		1,465	20
12,50	11,04		
		1,450	15
18,75	16		
		1,440	10
25	23,11		
		1,430	10
31,25	32,77		
		1,410	20
37,50	46,23		
		1,400	10
43,75	64,51		
		1,380	20
50	88,90		
		1,360	20
56,25	120,90		
		1,350	10
62,50	163,83		
		1,330	20
68,47	217,17		
		1,320	10
75	285,75		
		1,300	20
81,25	370,84		
		1,290	10
87,50	477,52		
		1,270	20
93,75	609,60		
		1,250	20
100	762		

Cette table présente une suite de rapports, qui croissent à peu près uniformément, ainsi qu'on peut le voir dans la dernière colonne, qui y est formée par la soustraction des rapports l'un de l'autre. Le terme moyen des nombres de cette colonne est 15,66. M. Dalton en conclut que par chaque intervalle de 6,25 degrés centigrades de température, le rapport dimi-

nue de 15 lorsque la température s'élève, ou augmente de 15 quand la température s'abaisse; il lui devint possible, au moyen de cette loi, de donner à volonté de l'extension à son échelle au-dessous de zéro et au-dessus de 100 degrés centigrades; et la force de la vapeur d'eau, pour les degrés de température entre ces termes, y fut établie par induction. Mais, en comparant les nombres de M. Dalton, dans la partie plus élevée de l'échelle, avec les résultats obtenus par expériences du docteur Ure et de M. Southern, il est évident que sa loi supposée de progression ne peut être portée plus haut que cent degrés centigrades, et qu'elle devient inutile, comme moyen de déterminer l'élasticité à des degrés élevés de chaleur. C'est ainsi qu'on voit, dans la table de M. Dalton, que sa loi donne l'élasticité de la vapeur d'eau à la température de 146°, 11 centigrades, égale seulement à 2692 millimètres ($2^m,692$) de mercure; tandis qu'à la température de 145,20 degrés centigrades, plus faible de 0,91 degrés centigrades, M. Southern trouve cette élasticité égale à 3048 millimètres ($3^m,048$); on voit que la différence est ici de 356 millimètres.

Le docteur Ure a découvert une formule empirique très-simple, qui nous donne la force de la vapeur d'eau à toutes températures dans les limites, à très-peu près, de ses expériences. Cette formule, qui peut être d'une grande utilité dans la pratique, et que, par cette considération, nous avons cru convenable d'insérer ici, est celle qui suit : la force élastique de la vapeur d'eau à 98,88 degrés centigrades est de $\overset{\text{millim.}}{734,06}$ de mercure, à 93,33 degrés centigrades elle est de $\overset{\text{millim.}}{599,44}$, le rapport est 1,23. Le rapport pour 87,77 degrés centigrades est 1,24, pour 82,22 degrés 1,25, et ainsi de suite. Au contraire, le rapport pour chaque intervalle de 5,55 degrés centigrades au-dessus de 98,88 de ces degrés est 1,22, 1,21, 1,20, etc. Actuellement soit n = le nombre de termes (chacun de 5,55 degrés centigrades) distant de 98,88 degrés centigrades; soit r le rapport moyen entre 98,88 degrés et la température donnée, F = la force élastique de vapeur cherchée.

Alors, pour les températures plus élevées que 98,88 degrés centigrades, on a $F = 734,06 \times r^n$, et pour les températures au-dessous de 98,88, $F = 734,06 + r^n$, ou, ce qui est la même chose, $F = \log. 734,06 \pm n \log. r$. Il ne serait cependant pas sûr d'appliquer cette formule à des températures plus élevées que celles qui correspondent aux expériences du docteur Ure; car elle donne l'élasticité de la vapeur d'eau à la température de 173,11 degrés centigrades, comme n'étant que de $5^m,334$ de mercure, tandis que nous voyons par les expériences de M. Southern, qu'à cette température, l'élasticité réelle est de $6^m,096$.

Expériences de M. Southern.

Dans ses expériences, pour déterminer l'élasticité de la vapeur d'eau à de hautes températures, M. Southern se servit, ainsi que l'avait fait le professeur Robison, d'un digesteur; mais au lieu de la soupape de sûreté, par la charge de laquelle ce professeur mesurait l'élasticité, M. Southern adapta au digesteur un cylindre foré avec beaucoup de soin, garni d'un piston y entrant avec très-peu de frottement; à la verge de ce piston, était ajusté un levier construit de manière à faire l'office d'un fléau de balance, au moyen duquel la résistance contre la force élastique de la vapeur pût être exactement déterminée. Les élasticités, aux températures au-dessous de 100 degrés centigrades, furent prises avec un tube barométrique rempli d'eau et de mercure bien net, par une méthode précédemment mise en pratique en 1773 par M. Watt, et par lui décrite dans son édition du professeur Robison, articles *Steam* and *steam engine*, page 30. M. Southern donne, pour la détermination de l'élasticité de la vapeur d'eau, dans les limites de ses expériences, la formule qui suit : à la température donnée t, à laquelle on cherche l'élasticité, ajoutez 51,3, et appelez la somme T. Alors le logarithme de l'élasticité est égal à 5,13 log. T—10,94123.

Pesanteur spécifique des vapeurs.

Lorsque les vapeurs, autres que celle de l'eau, sont exposées à la chaleur en contact avec les liquides qui leur donnèrent naissance, l'élasticité augmente rapidement comme c'est le cas avec celle de la vapeur d'eau. Le docteur Ure a formé, d'après une suite d'expériences, entreprises par lui pour déterminer l'élasticité, à diffé-

rentes températures, de la vapeur d'éther sulfurique, du pétrole et de l'huile de térébenthine, la table qui suit, insérée dans les Transactions philosophiques pour 1818, page 359.

ÉTHER SULFURIQUE.		ÉTHER SULFURIQUE.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
1°11	162,56	60°	1,445
6,66	205,74	62,78	1,577
12,22	261,62	65,56	1,717
17,78	330,20	68,33	1,869
23,33	408,94	71,11	2,038
28,89	508	73,89	2,194
34,44	627,38	76,67	2,357
40	762	79,44	2,517
2d	Ether.	82,22	2,750
40,55	762	87	2,948
43,33	826,51	87,78	3,169
46,11	911,86	90,55	3,395
	mètres.	93,33	3,627
48,89	1,002	96,11	3,843
51,67	1,098	98,89	4,216
54,44	1,197		
57,62	1,318		

ALCOOL, PESANTEUR SPÉCIFIQUE de 0,813.		ALCOOL, PESANTEUR SPÉCIFIQUE de 0,813.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		millimetres.
0°	10,16	82°22	882,14
4,44	14,22	83,33	924,56
7,22	17,78		mètres.
10	21,84	85,17	1,013
12,78	25,40	87,78	1,097
15,56	31,24	89,44	1,183
18,33	37,84	91,11	1,272
21,11	44,70	93,33	1,346
23,89	53,34	96,67	1,526
26,67	62,23	98,89	1,651
29,44	74,42	101,11	1,751
32,22	86,36	102,22	1,833
35	99,06	104,44	1,993
37,78	114,30	107,22	2,222
40,56	132,08	110	2,390
43,33	152,40	111,11	2,466
46,11	180,34	113,33	2,631
48,89	205,74	114,44	2,715
51,67	234,95	115,55	2,825
54,44	269,24	117,77	3,002
57,22	308,61	118,33	3,102
60	353,06	120	3,202
62,78	405,13	120,94	3,337
65,56	457,20	121,11	3,360
68,33	515,62	122,22	3,520
71,11	574,04	123,51	3,649
73,89	645,16	125,88	3,830
76,67	718,82	126,66	3,942
78,33	762	127,77	4,099
81,11	850,90	128,88	4,218

PÉTROLE.		PÉTROLE.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
157°77	762	176°66	1,190
160	805,18	179,44	1,279
162,77	863,60	182,22	1,353
165,55	924,56	185	1,445
168,33	988,06	187,77	1,541
	mètres.	188,88	1,572
171,11	1,056	190,55	1,625
173,88	1,121		

HUILE DE TÉRÉBENTHINE.		HUILE DE TÉRÉBENTHINE.	
TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.	TEMPÉRATURE centigrade.	Force de la vapeur en millimètres de mercure.
	millimètres.		mètres.
151°11	762	171°11	1,143
153,11	828,04	172,77	1,191
154,44	850,90	175	1,262
157,22	894,08	176,66	1,313
160	941,32	178,88	1,346
161,11	960,12	180,22	1,437
	mètres.	182,22	1,544
163,33	1,021	183,33	1,585
165,55	1,069		

Le docteur Ure a trouvé que si les rapports pour les vapeurs d'eau, étaient abaissés d'un simple échelon dans la série qu'ils présentent, ils concorderaient exactement avec la vapeur d'éther. A 762 millimètres d'élasticité 1,23 était le nombre initial pour la vapeur aqueuse; ce nombre est, pour la vapeur d'éther, 1,22. Si nous

augmentons ou diminuons d'une unité la seconde décimale de ce nombre, pour chaque intervalle de 5,55 degrés centigrades de température, on obtient, suivant qu'on descend ou qu'on s'élève, des rapports, au moyen desquels on peut calculer l'élasticité de la vapeur d'éther, d'après une formule absolument la même que celle présentée ci-devant pour la vapeur d'eau.[1]

Pour l'alcool de 0,813, le rapport à 78°,33 centigrades, le terme d'ébullition est 1,26. Ce rapport doit augmenter ou diminuer de 0,011 par chaque intervalle de 5°,55 centigrades de diminution ou d'augmentation des températures. En substituant ces rapports, on peut calculer l'élasticité de la vapeur d'alcool au moyen de la formule exactement la même que celle déjà indiquée pour la vapeur de l'eau.

A l'égard des vapeurs du pétrole et de l'huile de térébenthine, l'élasticité constitue une progression géométrique régulière. Le rapport pour le pétrole, est, pour 5°,55 centigrades, 1,14; et celui pour l'huile de térébenthine est, 1,22, au moins, à très-peu près.

Chaleur latente de la vapeur d'eau.

M. Watt fut le premier qui essaya de déterminer avec précision la chaleur latente de la vapeur d'eau. Ses recherches à ce sujet eurent lieu en 1781; mais l'exposé n'en a été publié que très-récemment dans l'édition, par

---

[1] L'éther, dont le docteur Ure fit usage, devait consister principalement en alcool, ainsi que cela est évident d'après son terme d'ébullition à 40, ou 40,5 degrés centigrades, seul moyen par lequel il pouvait le distinguer. L'éther sulfurique pur bout à 35 degrés centigrades, et sa pesanteur spécifique est 0,7155. Celle de l'éther du docteur Ure semblait devoir être, environ 0,78, et la moitié de son poids au moins était de l'alcool. Il résulte de cette considération que la force de la vapeur d'éther, indiquée dans la table ci-devant du docteur Ure, n'est pas celle réelle. M. Dalton a dernièrement publié Manchester mémoirs, III, 474, New Series, celle qui suit présentant l'élasticité de la vapeur d'éther à différentes températures.

Température centigrade.	Force de la vapeur d'éther sulfurique.
2,022	190,50 millimètres de mercure.
17,77	388, »
35,55	782, »
55,55	1m,524, »
78,33	3,048, »
104,44	6,096, »

le professeur Robison, page 6, des articles de M. Watt, *steam* and *steam engine*. D'après le résultat de leurs expériences, la chaleur latente de la vapeur d'eau est de 510 degrés centigrades et ce résultat concorde presque exactement avec celui de M. Southern, qui l'obtint, en 1803, de trois expériences par lui faites aux températures très-élevées de 505,55, 505,55 et 510 degrés centigrades. Les expériences de Lavoisier portent cette chaleur latente au delà de 537°,77 centigrades; et, suivant le comte de Rumford, elle s'élève à 560°44 centigrades. Le docteur Ure, dans une suite d'expériences qu'il a récemment publiées (Phil. trans. 1818, p. 388), l'établit à 519°,44 centigrades. Ainsi, nous avons pour déterminations de la chaleur latente de la vapeur d'eau, savoir :

	Degrés centigrades.
Watt.	510
Southern.	507,22
Lavoisier.	537,77
Rumford.	560,44
Ure.	519,44
moyenne	526,94

M. Southern fit une suite d'expériences pour déterminer la chaleur latente de la vapeur d'eau, portée à une température beaucoup plus élevée, et jouissant d'une force d'élasticité bien plus considérable que celle des vapeurs d'eau ordinaires. On a présenté, dans la table qui suit, les résultats qu'il obtint.

Température des vapeurs.	Élasticité en mètres de mercure.	Chaleur latente. Degrés centigrades.
109°,44 centig.	1,016.	505°,55
132,22.	2,032.	505,55
168,33.	3,048.	510 »

Il semble résulter de ces déterminations, que la chaleur latente de la vapeur d'eau est une quantité constante, quelle que soit sa température et son élasticité. Il est cependant une opinion de M. Southern, que M. Watt,

ainsi qu'il nous l'apprend, a adoptée, il y a long-temps, qui mérite l'attention des chimistes et d'exercer leur sagacité pour imaginer des méthodes, au moyen desquelles on puisse la confirmer par l'expérience. Lorsque l'air augmente en volume, sa température diminue en même temps. Il s'ensuit que si une portion d'air prenait graduellement de l'expansion, et qu'en même temps, il lui fût fourni assez de chaleur pour que sa température ne fût point altérée, cette dose additionnelle de chaleur ne serait point indiquée par le thermomètre, ou serait latente. Il y a tout lieu de croire qu'il en serait de même avec la vapeur d'eau. La *chaleur latente* de la vapeur d'eau est donc alors en réalité de deux sortes, 1° la chaleur latente de la fluidité élastique, ou celle qui donne lieu à la conversion d'un liquide en un fluide élastique; 2° la chaleur latente d'expansion, ou la chaleur qui devient latente, à mesure que la vapeur d'eau acquiert de l'expansion. Ce n'est que la première seulement de ces deux espèces de chaleur latente, qui peut être considérée comme une quantité constante.

Cet objet de considération mérite la plus grande attention, parce qu'il nous met en état d'expliquer un phénomène qui, au premier aperçu, semble tenir du paradoxe. Il est bien connu que si nous exposons une partie quelconque du corps à la vapeur d'eau, de la température de 100 degrés centigrades, nous éprouvons une vive brûlure; mais nous pouvons plonger nos mains dans la vapeur d'eau, chauffée à 127 degrés centigrades, ou au delà, sans en ressentir aucun mal. La vapeur d'eau, à 100 degrés centigrades, lorsqu'elle sort avec violence d'un orifice, est invisible jusqu'à un certain espace, et c'est pendant qu'elle est ainsi, qu'elle conserve toutes les propriétés d'échauffer jusqu'à la brûlure. Mais, à une haute pression, la vapeur d'eau devient un nuage dès qu'elle arrive dans l'air libre. Je conçois que dans ce cas, la vapeur acquérant de l'expansion par son entrée dans l'air, la chaleur latente de cette expansion est subitement accrue. La chaleur devient latente aux dépens de la chaleur latente de la fluidité élastique; une portion de la vapeur d'eau est donc réduite à l'état de molécules d'eau. C'est de cet effet que résulte le nuage qui s'est

formé. La portion, qui reste encore à l'état de vapeur, est alors mêlée avec des molécules d'eau et d'air ; et par conséquent, ses molécules sont trop éloignées les unes des autres pour être capables de brûler par leur chaleur. Ainsi, en supposant la température de la vapeur d'eau de 176°, 66 centigrades, son élasticité sera deux fois celle de l'air. Dès qu'elle arrive dans l'atmosphère, son volume double instantanément; par cet accroissement de volume, il y a absorption d'une grande portion de sa chaleur sensible, et, la réduction de chaleur sensible ayant lieu, une partie de la vapeur est convertie en eau. Dans ce cas, je conçois que la température est rendue trop basse pour affecter, en le brûlant, le corps humain.

Chaleur latente d'autres vapeurs.

Le docteur Ure et le comte de Rumford sont les seuls, que je sache, qui aient essayé de déterminer la chaleur latente d'autres fluides élastiques. Le comte de Rumford ne rechercha que celle de l'alcool, mais le docteur Ure fit des expériences sur un grand nombre de fluides ; on a présenté ces différens résultats dans la table qui suit :

Fluides élastiques provenant de	Pesanteurs spécifiques.	Chaleurs latentes. Degrés centigrades.
Vinaigre.	1,007	468,33
Ammoniaque liquide.	0,978	447,33
Acide nitrique. . . .	1,494	277,72
Alcool.	0,825	227,77
Alcool (exp. du comte de Rumford)		de 247 à 260
Éther sulfurique, (terme d'ébullition 44°,44 cent.)		de 150 à 298
Pétrole.		81,04
Huile de térébenthine.[1]		81,04

Chaleurs spécifiques de corps à différentes températures.

Le docteur Ure, qui s'est occupé de recherches sur les chaleurs spécifiques de corps à des températures différentes, se servait, pour ses expériences, d'un globe de verre mince, pouvant contenir 1,166 gram d'eau. Il

[1] Traduit de la 6e édition du docteur Thomson, vol. 1, pages 59 et suivantes.

remplissait ce globe de verre, d'eau, d'acide sulfurique, d'huile de spermacéti et d'huile de térébenthine, à la température, pour chacun de ces liquides, de 98°,88 centigrades, et il tenait compte du temps nécessaire pour refroidir chacun d'eux de 33°,33, ou pour en abaisser la température à 65°,55 centigrades; il obtint de ces expériences les résultats suivans, savoir :

Eau	21, 5′
Acide sulfurique.	17, 9
Huile de spermacéti.	12, 75
Huile de térébenthine.	11, 25

Le docteur Ure mesurait alors le temps que chacune de ces substances mettait à se refroidir de 65°,55 à 32°,22 centigrades, ce qui était également un refroidissement de 33°,33 centigrades. Ce refroidissement eut lieu, ainsi qu'il suit:

Eau	57, 0′
Acide sulfurique.	39, 66
Huile de spermacéti.	29, »
Huile de térébenthine.	25, 83

De ces expériences, dans lesquelles la chaleur spécifique du globe de verre était considérée comme égale à celle de 9,712 gram. d'eau, le docteur Ure déduisit les chaleurs spécifiques des liquides essayés, ainsi qu'il suit :

	Degré supérieur.	Degré inférieur.
Eau.	1,000	1,000
Acide sulfurique. . . .	0,418	0,364
Huile de spermacéti. .	0,597	0,513
Huile de térébenthine.	0,545	0,472

Il paraît résulter de cette table, qu'en supposant la chaleur spécifique de l'eau restant la même aux températures moyennes de 48°,88 et 82°,22 centigrades, alors les chaleurs spécifiques des trois autres liquides sont moindres à 48°,88 qu'à 82°,22 centigrades. Le docteur Ure pense qu'il est plus probable que les chaleurs spécifiques de ces trois liquides restent les mêmes aux deux températures, et que la chaleur spécifique de l'eau

diminue comme la température augmente. Dans cette supposition, on aurait, pour la chaleur spécifique de l'eau, savoir :

à	48°,88	1,0000
à	82,22	0,8768

Ces expériences auraient besoin d'être répétées par quelque autre savant, avant qu'on pût avoir pleine confiance dans leurs résultats ; mais, en supposant même qu'elles fussent exactes, je ne vois pas comment on pourrait adopter l'alternative du docteur Ure. Il semble tout aussi naturel de conclure que la chaleur spécifique de l'eau reste à peu près stationnaire entre 32°,22 et 82°,22 centigrades, tandis que celle des autres liquides augmente. Mais la différence entre les deux colonnes (qui s'élève à près de 0,125) est si énorme que je soupçonne qu'il s'est glissé quelque erreur dans l'une ou l'autre. On pourrait aisément vérifier le fait par des expériences conduites d'une autre manière. [1]

Chaleur produite par la combustion des gaz.

Dans ses recherches aussi curieuses qu'intéressantes sur la flamme, sir Humphry Davy nous a présenté les résultats d'une suite d'expériences sur la chaleur produite par la combustion de cinq gaz différens. On donnait issue aux gaz par l'orifice d'un tube de platine ; et après avoir enflammé le dard, on le dirigeait vers le fond d'un vaisseau de cuivre contenant de l'huile, préalablement portée à la température de 100 degrés centigrades. Le volume de chaque gaz consumé et le temps pendant lequel ils brûlaient, étaient, autant que possible, à peu près les mêmes. Les résultats obtenus furent ainsi qu'il suit. (Phil. trans., 1817, p. 52.)

6. Gaz oléfiant élèva la chaleur de l'huile à	132°22 c.	ou de 32°22
1. Le gaz hydrogène à.	114,44	ou de 14,44
4. Le gaz de houille à.	113,33	ou de 13,33
3. Le gaz hydrogène sulfuré à.	111,11	ou de 11,11
1. Le gaz oxide de carbone à.	103,33	ou de 3,33

Les nombres, dans la première colonne, indiquent les quantités relatives d'oxigène, consumées pendant les combustions. La différence à l'égard de la chaleur pro-

[1] Traduit de la 6e édition du docteur Thomson, vol. 1, page 105.

duite par la combustion du gaz hydrogène est énorme, comparativement à cette chaleur indiquée par Lavoisier, Crawford, ou Dalton; mais il est évident qu'il s'était dissipé beaucoup de chaleur dans le cours de l'expérience, à raison de la haute température préalablement donnée à l'huile.[1]

Les corps aériformes purs sont incapables de réfléchir la lumière; d'où il suit que si du gaz hydrogène, parfaitement pur, brûlait en contact avec du gaz oxigène pur, il ne se produirait nullement de lumière visible; et cependant la chaleur dégagée serait très-grande. C'est seulement, lorsque pendant la combustion de gaz des corps opaques sont dégagés, qu'il y a apparence de flamme; et l'intensité de la flamme dépend de la quantité de cette matière opaque dégagée. Cette remarque faite, pour la première fois, par sir Humphry Davy, semble être exacte; on en peut induire que c'est la raison pour laquelle le gaz oléfiant est celui de tous qui donne en brûlant la flamme la plus intense. Il y a dégagement abondant de charbon, qui devient d'un rouge blanc pendant sa combustion.

Température à laquelle des corps brûlent.

Tout corps semble avoir sa température particulière, à laquelle il est susceptible de brûler; et jamais il ne brûle avant qu'il n'ait atteint cette température, qui lui est nécessaire à cet effet. L'ordre de combustibilité de différens corps, établie d'après les observations de sir Humphry Davy (Trans. phil. 1817, p. 48), est ainsi qu'il suit, en commençant par le corps qui brûle à la température la plus basse, savoir :

Phosphore.
Gaz hydrogène phosphoré.
Hydrogène et chlore.
Soufre.
Hydrogène et oxigène.
Gaz oléfiant.
Hydrogène sulfuré,
Alcool.
Cire.

---

[1] [illegible], p. 142.

Oxide de carbone.
Hydrogène carboné.

Ainsi, il paraît que, c'est le gaz hydrogène carboné qui exige, pour maintenir sa combustion, la température la plus élevée, et l'hydrogène phosphoré la plus basse.

Effet de l'air raréfié.

Lorsque ces corps brûlent dans un air raréfié, la chaleur dégagée est moindre, parce qu'une plus petite quantité brûle à la fois; et quand, suivant sir Humphry Davy, la chaleur n'est pas suffisante pour entretenir la combustion, la flamme s'éteint. C'est ainsi que le phosphore brûlera dans l'air raréfié soixante fois, tandis que le gaz hydrogène carboné ne brûlera pas dans un air raréfié quatre fois seulement.

Lorsque les gaz sont raréfiés par la chaleur, leur combustibilité, ainsi qu'il paraît résulter des expériences de sir Humphry Davy, est augmentée au lieu d'être diminuée, comme le supposait Grotthus.

Effets de mélanges combustibles étendus.

Lorsqu'un mélange de deux volumes de gaz hydrogène, et d'un volume de gaz oxigène, est étendu de quantités déterminées d'autres gaz, ce mélange perd sa propriété de faire explosion lorsqu'on le fait traverser par une étincelle électrique. La table qui suit présente les volumes des différens gaz qui détruisent la propriété explosive d'un volume d'un semblable mélange, d'après les expériences de sir Humphry Davy. (Phil. trans. 1817, p. 59.)

	volumes.
Hydrogène.	8
Oxigène.	9
Protoxide d'azote.	11
Hydrogène carboné.	1
Hydrogène sulfuré.	2
Gaz oléfiant.	0, 5
Gaz acide hydrochlorique. . . .	2, 0
Gaz acide fluosilicique..	0,83

L'inflammation eut lieu lorsque le volume de ces gaz fut réduit ainsi qu'il suit :

	volumes.
Hydrogène.	6
Oxigène.	7

	volumes.
Protoxide d'azote.	10
Hydrogène carboné.	0,75
Hydrogène sulfuré.	1,5
Gaz oléfiant.	0,33
Gaz acide hydrochlorique. . . .	1,5
Gaz acide fluosilicique..	0,75

Sir Davy attribue l'effet de semblables mélanges pour empêcher l'inflammation de l'hydrogène, à ce qu'ils servent à en transporter la chaleur, ou à prévenir qu'elle ne s'élève au point nécessaire. Cette faculté dépend, en partie, du pouvoir conducteur, et en partie de la chaleur spécifique de ces corps gazeux. [1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. 1, page 144. L'auteur anglais fait suivre ici ces expériences de sir Humphry Davy, de celles qui ont rapport à la lampe de sûreté imaginée par ce savant chimiste, et dont on a présenté l'exposé dans l'appendix qui termine la traduction française de l'édition précédente. R.

DE L'ÉLECTRICITÉ.

Électromètre très-sensible.

Le professeur Bohenberger donne dans la Bibliothèque universelle, novembre 1820, la description et l'usage d'un électromètre très-sensible, qui indique l'espèce d'électricité dont il accuse la présence.

Cet électromètre, construit par M. Butzengeiger, mécanicien de l'université de Tubingen, consiste dans un vase cylindrique, d'environ 68 millimètres de diamètre sur 95 de hauteur, portant un couvercle de laiton. De ce couvercle, descendent dans le vase deux colonnes électriques sèches, vissées à ce couvercle, de manière que le pôle positif de l'une et le pôle négatif de l'autre y forment au-dessus une légère saillie. Chaque colonne électrique est composée de 400 disques d'environ 7 millimètres de diamètre de papier d'or et d'argent collés ensemble, remplissant deux tubes de verre verni. Chacun de ces tubes est terminé, à sa partie inférieure, par un anneau de laiton un peu saillant et arrondi, qui est en communication électrique avec les disques. Le couvercle étant en place, les colonnes descendent verticalement, ayant leur anneau inférieur distant d'environ 6 millim. du fond du verre. Les axes des colonnes sont éloignés d'environ 42 millimètres l'un de l'autre; mais on peut les rapprocher. Du centre du couvercle s'élève un tube de verre, verni en dedans et en dehors. Dans l'intérieur de ce tube est un fil de laiton, maintenu dans l'axe par un bouchon de liége et ne touchant ce tube nulle part. A l'extrémité inférieure de ce fil de laiton est suspendue une lame d'or battu, longue d'environ 68 millimètres, et large de 7 millimètres, se trouvant exactement placée au milieu de l'intervalle entre les deux colonnes, et parallèlement à leur axe, si elles sont bien verticales. L'extrémité supérieure du fil de laiton se termine en une petite boule de même métal, sur laquelle on peut visser un des disques d'un condensateur comme à l'électromètre de Volta.

Lorsqu'on veut se servir de cet électromètre, on met le couvercle de métal en communication avec le sol, au moyen d'un fil métallique; et, en touchant le bouton du fil de métal auquel est attachée la lame d'or, on dissipe toute électricité accidentelle qui pourrait appartenir à cette partie de l'appareil, en observant, que pour produire cet effet, l'attouchement du doigt ne serait pas suffisant, si alors on avait la peau sèche. La lame d'or étant suspendue entre les colonnes jusqu'au niveau des anneaux de métal qui les terminent, l'une positivement, l'autre négativement, elle est attirée également de part et d'autre, et reste tranquille au milieu, dans l'état ordinaire; mais, lorsqu'au moyen du fil de métal auquel cette lame est suspendue, on lui communique le plus faible degré d'électricité, alors l'extrémité inférieure de la lame d'or est attirée par l'anneau de métal qui possède l'électricitée opposée à celle qu'on communique. La lame arrive jusqu'au contact avec cet anneau, puis elle en est aussitôt repoussée et attirée par l'anneau opposé. Ce mouvement d'oscillation dure jusqu'à ce que la lame s'applique par le bout inférieur à l'une des colonnes, dont on peut facilement, en touchant le fil de métal de manière à dissiper toute son électricité, et en secouant un peu l'instrument, la détacher, si cette lame est assez longue pour arriver toujours dans ses oscillations, au bord supérieur de l'anneau. Pour pouvoir juger de l'espèce d'électricité, les pôles supérieurs des deux colonnes qui font saillie au-dessus du couvercle, portent les signes + et —. L'électricité qu'on cherche, est celle qu'indique le signe de la colonne vers laquelle la lame se porte d'abord, ou qui, lorsque l'électricité est plus forte, en est touchée la première.

On peut également bien se servir avec avantage de cet électromètre pour examiner des électricités fortes et faibles. Dans le premier cas, on approche lentement et de loin le corps électrisé de la boule de l'électromètre, jusqu'à ce que la lame d'or se mette en mouvement vers l'une des deux colonnes. Si, par exemple, on approche un bâton de cire d'Espagne frotté, à la distance d'environ un mètre de la boule, on verra déjà un mouvement de la lame d'or vers la colonne marquée —; si l'on

approche davantage le bâton de cire d'Espagne frotté vers la boule, la lame frappera la colonne; et, par un rapprochement encore plus grand, elle pourrait être aisément déchirée. Dans le second cas, celui des électricités faibles, il faut porter le corps électrisé beaucoup plus près de la boule, et même peut-être le faire arriver en contact avec elle, jusqu'à ce que la lame d'or se mette en action. Cet effet est si peu sensible, qu'il ne se manifesterait point d'une manière apercevable à l'électromètre ordinaire de Bennet. Lorsque l'électricité est très-faible, on peut se servir avec avantage du condensateur adapté à l'instrument. La plaque circulaire au bord de laquelle on visse la boule de l'électromètre, remplace le couvercle du condensateur, et un disque de métal, muni d'un manche de verre et qu'on pose sur cette plaque, représente la partie inférieure. La plaque et le disque sont recouverts d'une couche mince de vernis de succin, sur la face par laquelle on les met en contact. Lorsqu'on veut éprouver une électricité très-faible, on touche d'abord, pour la dépouiller de son électricité, la plaque inférieure, ou le fil qui porte le bouton; on pose ensuite dessus la seconde plaque; puis on touche la plaque inférieure, ou son fil, avec le corps dont on veut examiner l'électricité, en touchant en même temps la plaque supérieure, pour la dépouiller de son électricité; on enlève alors le disque supérieur par son manche de verre, en remarquant vers laquelle des deux petites colonnes la lame d'or se porte; le signe marqué sur cette colonne indique l'espèce de l'électricité. Si, par exemple, on met en contact avec la surface inférieure de la plaque inférieure du condensateur, un petit disque de zinc d'environ 18 millimètres de diamètre, en le pressant contre cette plaque, sans toucher du doigt celle-ci, et qu'on touche en même temps le disque supérieur du condensateur pour le dépouiller de son électricité, et qu'ensuite on enlève d'une part le disque de zinc, de l'autre la plaque supérieure, on verra la lame d'or s'approcher décidément de la colonne marquée —. Le même effet se fera observer, en mettant en contact avec le disque de l'appareil, un morceau de papier argenté, du côté où il est enduit de métal.

Il pourrait être, dans quelques cas, plus commode, de mettre le corps électrisé à examiner en contact avec le disque supérieur qui peut être retiré à volonté, en touchant la plaque inférieure pour la dépouiller, et en procédant d'ailleurs comme il vient d'être indiqué. Mais l'électricité que l'instrument indiquera, sera, dans ce cas, opposée à celle qu'on a communiquée à la plaque supérieure, parce que, par cette manière de procéder, la plaque, réunie à l'instrument, forme la base du condensateur.

Si le corps qu'on veut examiner ne peut pas être commodément mis en contact avec la plaque inférieure du condensateur, on établit la communication au moyen d'un fil de métal pourvu d'un manche isolant, et on procède au surplus ainsi qu'on l'a indiqué. [1]

Distinction des deux espèces d'électricité.

Nous admettons, conformément à la doctrine adoptée en France et par beaucoup de physiciens étrangers, l'existence de deux fluides électriques, susceptibles de se neutraliser l'un l'autre, et dont la combinaison, en proportions déterminées, constitue l'état naturel des corps. Cette théorie fournit une explication simple de tous les faits; et, soumise à l'épreuve décisive du calcul, elle donne des résultats qui s'accordent avec l'expérience; mais les noms de positif et négatif semblent devoir être conservés :

1° Parce que ces mots positif et négatif désignent, dans toutes les applications de l'analyse mathématique, deux sortes de grandeurs également existantes; mais telles, que quand elles sont de valeurs absolues égales, elles se détruisent mutuellement par leur réunion; et que, quand elles ont des valeurs absolues inégales, l'effet de cette réunion est de donner une valeur égale à leur différence, et de même signe que celle dont la valeur absolue est la plus grande, or, c'est précisément ce qui a lieu à l'égard des deux électricités.

2° Parce que l'emploi de ces mots, pris dans ce sens, fournit le moyen de ramener à un énoncé général des faits, qu'on ne pourrait décrire, sans y avoir recours, qu'en entrant dans le détail de tous les cas particuliers qu'ils pré-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 91.

sentent. En conservant aux deux électricités les noms d'électricité positive et d'électricité négative, et entendant ces deux expressions dans le sens qu'on leur donne en géométrie, on pourra dire, par exemple, que quand on a fait toucher deux sphères métalliques isolées, de même diamètre, et diversement électrisées, elles présentent, après qu'on les a séparées, une électricité égale à la demi-somme de leurs électricités primitives; et cet énoncé comprendra les divers cas où les deux électricités sont positives, où elles sont toutes deux négatives, où l'une est positive et l'autre négative, soit que celle qui est positive ait une plus grande ou une moindre valeur absolue que l'autre; de même, si un disque de zinc repose sur un disque de cuivre isolé et électrisé, on exprimera l'état électrique du zinc, en disant, qu'il y a entre cet état et celui du cuivre une différence constante, toujours positive, soit que le cuivre soit à l'état positif ou négatif; tandis qu'en se privant du secours qu'on tire de la considération des signes *plus* et *moins* des deux électricités, il faudrait se servir d'un énoncé différent dans chacun de ces cas.

3° Parce que les mots d'électricité vitrée et d'électricité résineuse, non-seulement n'expriment point la propriété qu'ont les deux électricités de se neutraliser mutuellement, qui en est le caractère le plus essentiel, mais indiquent que le verre prend toujours l'électricité positive, et la résine l'électricité négative, quelles que soient les substances avec lesquelles on les frotte, ce qui est contraire à l'expérience.

4° Parce que l'usage des expressions d'électricité positive et d'électricité négative, est admis généralement par les physiciens des autres nations, et qu'il l'est même en France par ceux qui n'affectent pas de ne se servir que des dénominations qu'on y a substituées. Ce changement était sans motif; et lorsqu'on admit l'existence des deux fluides, on aurait dû dire : ils présentent l'un à l'égard de l'autre les propriétés opposées des grandeurs positive et négative de la géométrie; l'un doit donc être appelé le fluide positif, et l'autre le fluide négatif; le choix est arbitraire, comme on choisit arbitrairement le côté de l'axe d'une courbe où ses abscisses sont positives; mais alors celles de

l'autre côté doivent être nécessairement considérées comme négatives ; et le choix une fois fait, comme il l'a été à l'égard des deux électricités, on ne doit plus le changer.

EXPOSÉ

DES NOUVELLES DÉCOUVERTES SUR LE MAGNÉTISME ET L'ÉLECTRICITÉ.

Propriétés nouvelles [1] *des conducteurs voltaïques, et conséquences qui en résultent relativement à la cause des phénomènes magnétiques.*

Définition du courant électrique.

1. Dans la pile isolée, chaque espèce d'électricité se manifeste à l'une des extrémités de l'appareil, l'électricité positive à l'extrémité zinc, et l'électricité négative à l'extrémité cuivre. [2] Cet effet, appréciable à l'électromètre et au condensateur, se maintenant malgré les causes qui tendent à décharger la pile, il s'ensuit, que la séparation des deux électricités, qui a lieu dans chaque élément, et qui porte constamment l'électricité positive à l'une des

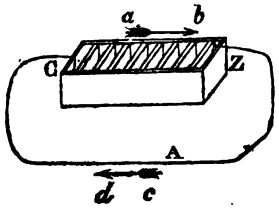
[1] M. J. Chr. Oersted, professeur de physique à l'université de Copenhague, annonça pour la première fois en 1820, que l'aiguille aimantée changeait de direction par l'influence de l'appareil voltaïque ; que cet effet avait lieu lorsque le circuit était formé, et non lorsqu'il était interrompu. M. Ampère, membre de l'académie des sciences de l'Institut, s'empressa de s'occuper de diverses expériences à ce sujet, dans la seule vue d'abord de compléter le travail du savant professeur danois. Mais bientôt il découvrit lui-même, qu'une autre portion du circuit voltaïque exerçait, sans la présence d'aucun aimant, une nouvelle sorte d'action sur le fil métallique au moyen duquel ce circuit est établi. La connaissance de ce fait conduisit M. Ampère à plusieurs autres observations, dont il donna successivement communication à l'académie des sciences, ainsi que des conséquences qu'il en déduisit, et dont le but général est d'établir l'identité de l'électricité et du magnétisme.

L'exposé de phénomènes nouveaux d'une aussi grande importance ne pouvait qu'être utilement placé dans ce Supplément, en parlant de l'électricité; cet exposé a été fait par M. Babinet, professeur de physique au collége royal de Saint-Louis, conjointement avec M. Ampère, auquel appartiennent la théorie qui y est développée et toutes les expériences dont l'auteur n'est pas nommé, ainsi que les réflexions qui précèdent sur la distinction des deux espèces d'électricité. R.

[2] En désignant ainsi les deux extrémités de la pile nous supposons

extrémités de la pile, et l'électricité négative à l'autre, continue à s'opérer lorsqu'on fait communiquer les deux extrémités ensemble par un corps bon conducteur, qui permet aux deux principes électriques de se réunir et de se neutraliser. Dans la pile CZ, figure 1,

Fig. 1.



dont l'extrémité positive Z est jointe à l'extrémité négative C par le fil de métal ZAC, on doit considérer que l'électricité positive est enlevée à la partie du fil et de la pile qui est voisine de C, et portée par l'action de l'appareil vers l'extrémité Z pour retourner de nouveau par la route ZAC, et former ainsi un courant, qui subsiste tant que la pile conserve son activité. Le même effet se produisant en sens contraire sur l'électricité négative, son transport de Z en C, et son retour de C en Z, par la route CAZ, donne naissance à un courant d'électricité négative, dont la direction est contraire à celle du courant précédent; ces deux courans s'établissent toujours, lorsque l'on fait communiquer les deux extrémités de la pile. Il suffit donc de désigner la direction du transport de l'un des principes électriques, pour indiquer, en même temps, le sens du transport de l'autre; c'est pourquoi, en employant dorénavant l'expression de courant électrique pour désigner le sens dans lequel se meuvent les deux électricités, nous appliquerons cette expression à l'électricité positive, en sous-entendant, que l'électricité négative se meut toujours en sens contraire. Nous

qu'elle est terminée par deux couples complets de cuivre et de zinc, et non par un demi-couple de zinc à un de ses bouts et de cuivre à l'autre; dans ce dernier cas il faudrait changer l'une contre l'autre ces dénominations, pour leur conserver le même sens relativement à la direction du courant.

dirons, par exemple, que dans la pile fig. 1, le courant électrique va de C en Z pour exprimer à la fois que l'électricité positive est portée de C en Z, et que l'électricité négative l'est de Z en C; et nous dirons de même, que dans le conducteur, le courant électrique va de Z en C pour exprimer que c'est la direction de l'électricité positive, et que celle de l'électricité négative est de C en Z.

Propriété que présente la pile quand ses extrémités communiquent par un fil conducteur.

2. Lorsque l'on met en communication, par un fil de métal, les deux extrémités d'une pile, il ne s'y manifeste plus aucune tension appréciable au condensateur le plus sensible; mais on observe alors d'autres phénomènes très-remarquables, et tout différens de ceux que produit l'électricité dans l'état de tension; phénomènes dont l'existence offre la preuve directe que cette communication ne fait point cesser l'action électromotrice de la pile. On peut citer parmi les phénomènes de ce genre, connus avant les recherches de M. Oersted, la décomposition de l'eau, des sels et de toutes les combinaisons chimiques; la chaleur et la lumière qui se produisent dans l'air raréfié, entre deux conducteurs communiquant aux deux extrémités de la pile, et maintenus à une distance assez petite pour que le courant puisse s'établir de l'un à l'autre; et l'incandescence des fils métalliques très-fins qui font partie du circuit.

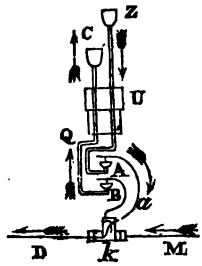
M. Oersted a découvert récemment l'action exercée par le courant électrique sur l'aiguille aimantée; M. Ampère, les attractions et les répulsions des conducteurs, qui mettent en communication les deux extrémités de la pile, ainsi que l'action du globe sur eux, faits auxquels il a rattaché la théorie de l'action qui s'exerce entre ces conducteurs et les aimans, et celle de l'action que les aimans exercent les uns sur les autres. M. Arago a reconnu, tant pour l'électricité ordinaire que pour celle de la pile, la propriété qu'elles ont d'aimanter les corps susceptibles de recevoir la vertu magnétique.

La découverte de M. Oersted, qui a été l'occasion de tout ce que l'on a trouvé depuis dans cette branche de la physique, consiste en ce que l'aiguille aimantée est dérangée de sa position naturelle par l'action qu'exerce sur elle le courant électrique d'un fil conducteur. Les diverses circonstances relatives à la position de ce fil et à la direc-

tion du courant, ne seront décrites, dans cette notice, que quand nous nous occuperons de l'influence mutuelle des courans électriques et des aimans, parce que l'ordre naturel des faits dont se compose cette nouvelle branche de la physique, exige évidemment que nous commencions par le plus simple, celui de l'action mutuelle de deux courans électriques.

3. Pour observer les phénomènes d'attraction et de répulsion des courans électriques, il est indispensable de rendre mobile le conducteur ou une portion du conducteur qui fait communiquer ensemble les deux extrémités de la pile. Le mode de suspension, représenté fig. 2, Attractions et répulsions des courans électriques.

Fig. 2.

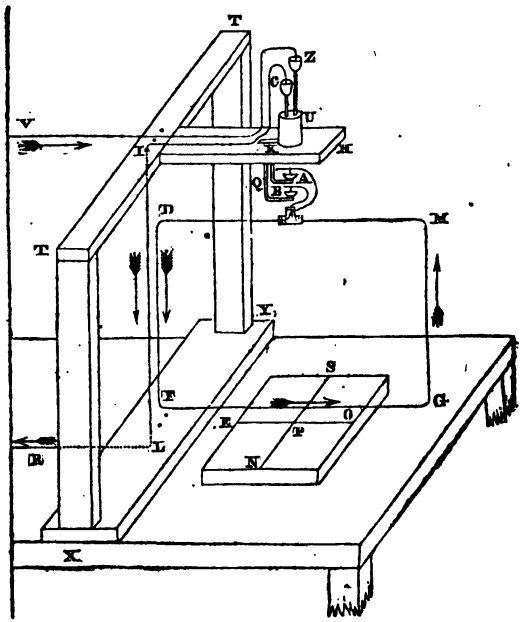


laisse une grande mobilité au fil de métal pour lequel on l'emploie. Aux deux bouts de ce fil sont soudées des pointes verticales d'acier, dont la supérieure, qui, comme un pivot, porte le fil mobile, pose dans une petite coupe ou capsule de métal A, et dont l'inférieure, qui doit être placée verticalement au-dessous de la première, communique, sans y toucher, à une coupe semblable B, par un peu de mercure que l'on met dans cette coupe : de cette manière le courant électrique arrivant, par la capsule métallique Z, en communication avec l'extrémité positive de la pile, le transmet à la capsule A par la tige recourbée ZA, et au fil A*a*D, en passant d'un côté de la pièce d'ivoire ou de bois verni K, qui sert à maintenir le fil et à isoler ses parties voisines. Après avoir parcouru tout le fil, ce courant revient par M à la capsule B, en passant de l'autre côté de la pièce K, et de là, par la tige BQC, rejoint la coupe C, que l'on fait communiquer

avec l'extrémité négative de la pile. Le support U, que traversent les tiges recourbées qui portent les capsules A et B, doit être d'une substance suffisamment isolante pour l'électricité de la pile, comme de bois, de liége, etc., à moins qu'on ne fasse passer les tiges au travers de tubes de verre fixés dans ce support, qui peut être alors d'une substance quelconque. Pour rendre la communication plus parfaite entre la capsule A et le fil, qui ne la touche que par une pointe d'acier très-fine, il faut aussi mettre du mercure dans cette capsule, et, en général, il est à propos d'en mettre partout où deux portions du circuit voltaïque ne communiquent que par contact. Ainsi dans les coupes C et Z, il y aura un peu de mercure, et la communication de ces coupes avec la pile s'établira très-commodément, en y plongeant des fils, dont les autres extrémités communiquent avec celles de la pile.

On voit, dans la figure 3,

Fig. 3.



un fil plié en forme de rectangle, et suspendu de la manière que nous venons de décrire. Le courant arrivant par la capsule Z, parcourt tout le fil mobile, suivant la direction ZADFGMBQC. Les figures 4, 5 et 6, représentent d'autres fils, pliés de différentes manières, qui ont tous le même mode de suspension. Le support U, figures 2 et 3, qui porte les capsules, où plongent les pointes d'acier des fils, s'adapte, en forme de bouchon, à une ouverture K, faite à la tablette H, qui tient au cadre XTTY, élevé sur le socle XY. Les conducteurs mobiles, tournant sur la pointe qui les porte, pourront décrire une circonférence presque entière; ce qui suffit dans les expériences auxquelles cet appareil est destiné; il faut seulement avoir soin, quand on veut profiter de tout le mouvement dont il est susceptible, de disposer les tiges recourbées qui portent les capsules, de manière à ce qu'elles ne s'opposent point à ce que le conducteur puisse décrire le plus grand arc possible, à partir de sa position initiale.

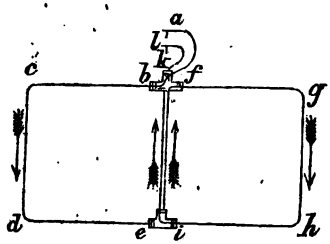
4. Avec cet appareil, il sera très-facile de vérifier ce fait fondamental pour la théorie; savoir, que deux fils métalliques parallèles, parcourus par des courans électriques, s'attirent quand ces courans vont dans le même sens, et se repoussent dans le cas contraire. C'est ce que l'on verra, en faisant arriver de l'extrémité positive de la pile à la coupe Z le courant électrique par le fil VZ, et le faisant revenir à l'extrémité négative par le fil CILR, après qu'il a parcouru tout le conducteur mobile, en sorte que sa direction soit du haut en bas dans le fil vertical IL.

La communication ayant été interrompue, par exemple, en retirant le fil qui plonge dans la capsule Z, si on dispose le conducteur mobile ADFGMB de manière que la partie DF de ce conducteur, où le courant est descendant comme dans le fil IL, soit voisine de ce fil, on verra, en rétablissant le circuit, que la partie DF du conducteur se portera vers le fil IL, et qu'après l'avoir touché, elle y restera attachée; si, au contraire, c'est la partie GM du conducteur, où le courant est ascendant, qui soit voisine du fil IL, où le courant est descendant, dès qu'on établira le circuit, le fil mobile GM sera repoussé, et s'éloignera de IL.

5. Nous verrons, tout à l'heure, que la terre exerce sur les conducteurs mobiles, tels que ADFGMB, une action directrice qui tend à amener le plan DFGM dans une situation où il est perpendiculaire à la direction de l'aiguille aimantée, et où le courant va de l'est à l'ouest, dans la partie inférieure de ces conducteurs. Il faut donc avoir soin, pour que l'action de la terre ne se combine point avec celle du fil IL, de disposer préalablement l'appareil, de manière que le plan du conducteur ait précisément cette direction, et que de plus le point F soit à l'est, et le point G à l'ouest, quand le courant va de F en G, ainsi que nous l'avons supposé dans la figure. On s'assure facilement qu'alors l'action de la terre, pour mouvoir le conducteur, est tout-à-fait nulle, en ne faisant passer le courant électrique que par ce conducteur : pour cela, on amène les fils, qui vont aux deux extrémités de la pile, directement aux deux coupes C et Z, sans faire passer, comme précédemment, le courant par IL : alors le conducteur, mis dans la position indiquée, reste immobile. Lorsqu'on veut ensuite éprouver l'attraction ou la répulsion du fil IL sur le conducteur mobile, il faut, en laissant ce dernier dans la position où il est amené par l'action que la terre exerce sur lui, rendre alternativement IL voisin de DF ou de GM; on place pour cela le cadre XTTY tantôt à l'est tantôt à l'ouest du conducteur mobile, en ayant soin de tourner, comme nous l'avons dit, le support U chaque fois qu'on déplace le cadre, on amène ainsi IL auprès de DF ou de GM, qui conservent toujours leur même situation.

6. On peut aussi soustraire le conducteur mobile à l'action directrice de la terre, en le formant d'un fil de laiton tellement plié qu'il se compose de deux figures pareilles, dans lesquelles le courant se meut d'une manière contraire, afin que l'action de la terre sur une de ces portions soit contre-balancée par celle que la terre exerce sur l'autre; c'est ce que représentent les fig. 4 et 5.

Fig. 4.



la partie *bcdef* du conducteur mobile fig. 4, forme un circuit rectangulaire presque fermé, où le courant venant de *a* suit l'ordre des lettres, et l'autre partie du même conducteur, savoir *fghik*, forme un autre rectangle égal au premier, dans lequel le courant va en sens contraire; alors, quelle que soit l'action exercée par la terre pour faire tourner l'un des rectangles dans un sens, la même action s'exerçant en sens contraire sur l'autre, ces deux actions se détruisent mutuellement. On voit de même fig. 5.

Fig. 5.

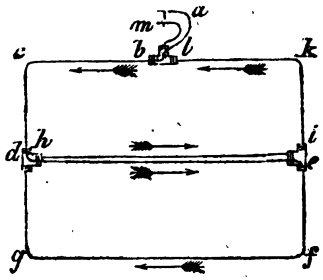
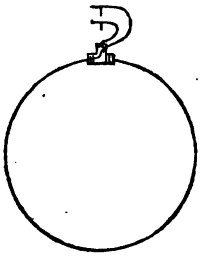


Fig. 6.



un conducteur mobile *abcdefghiklm* plié de manière que sa partie inférieure *defgh* forme un circuit rectangulaire à peu près fermé, et que ses deux branches supérieures *bcd, hikl,* composent par leur réunion un circuit semblable au premier, dans lequel le courant se meut en sens contraire. On s'assure facilement par l'expérience, qu'en faisant passer un courant électrique par

un pareil conducteur, il n'éprouve aucune action directrice du globe, et qu'il reste immobile dans toutes les positions qu'on lui donne.

C'est par le conducteur de la fig. 4 qu'il faut remplacer celui qui est représenté fig. 3, lorsqu'on veut répéter l'expérience des attractions et des répulsions de courans parallèles, à l'abri de l'action directrice du globe terrestre; l'effet sera le même alors quelle que soit la direction du plan *cdhg* du conducteur. Le courant étant dirigé dans le conducteur comme le représente la fig. 4, il y a attraction entre le fil IL de l'appareil fig. 3, où le courant est descendant et les côtés *cd*, *gh*, où le courant est pareillement descendant. Le contraire aura lieu si on change les deux fils de capsules, ce qui revient à changer la direction du courant dans le conducteur mobile sans changer celle du courant du fil IL, de cette manière on fera succéder tant de fois qu'on voudra la répulsion à l'attraction entre les deux mêmes fils parallèles.

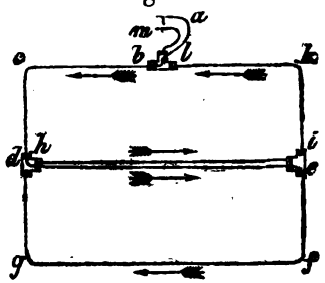
7. Ces expériences réussissent de la même manière, lorsqu'au lieu de faire agir l'un sur l'autre deux fils qui font partie du circuit d'une même pile, on fait agir deux fils qui conduisent les courans de deux piles différentes. Quand les extrémités de ces fils, qui reçoivent l'électricité de même nom, sont du même côté, il y a attraction, et répulsion dans le cas contraire.

8. Nous avons vu que deux courans parallèles s'attirent quand ils sont dirigés dans le même sens; et que, dès qu'ils sont arrivés au contact, ils restent adhérens tant que le courant électrique continue à être dirigé dans le même sens dans l'un et dans l'autre. Ainsi le fil IL, fig. 3, communiquant en I avec l'extrémité positive de la pile, et en L avec l'extrémité négative, attire le fil DF qui communique en D avec l'extrémité positive de la pile et en F avec l'extrémité négative; d'où il suit que cette action est absolument différente de l'action de l'électricité à l'état de tension; puisque les deux fils qui se portent ici l'un vers l'autre ont celles de leurs extrémités qui arrivent au contact, en communication avec une même extrémité de la pile, et qu'après que ces deux fils se sont touchés, ils restent unis, tandis que s'il s'agis-

sait des attractions et répulsions électriques de tension, il faudrait que les parties du fil, qui s'attirent et viennent se toucher, fussent en communication avec des électricités d'espèces opposées; et de plus dès que les parties qui se seraient attirées arriveraient au contact elles se repousseraient, à moins que par ce contact, elles ne fussent ramenées à l'état naturel, et alors il n'y aurait plus d'action entre elles.

9. Au moyen du conducteur, fig. 5, on peut voir que deux courans, quelle que soit leur direction, tendent à se mettre dans la position où ils seront parallèles et dirigés dans le même sens. En effet ayant remplacé le conducteur mobile ADFGMB de la fig. 3 par celui de la fig. 5, Action mutuelle de deux courans non parallèles.

Fig. 5.



et faisant arriver le courant directement de l'extrémité positive de la pile à la coupe Z, et retourner directement de la coupe C à l'extrémité négative par un fil métallique assez long pour qu'on puisse en amener une portion dans telle situation qu'on voudra, la partie *fg*, fig. 5, de ce conducteur mobile remplaçant, dans la fig. 3, celle qui est dessinée en FG, et conduisant le courant électrique de *f* en *g*, si l'on fait passer sous cette partie *fg*, fig. 5, dans une direction horizontale quelconque EO, fig. 3, le fil métallique par lequel la coupe C est en communication avec le pôle négatif, on verra le fil mobile *fg*, fig. 5, tourner jusqu'à ce qu'il se trouve parallèle au fil EO, fig. 3, et qu'il ait son courant dirigé dans le même sens que celui de ce fil. Si, à l'instant où l'on établit le circuit électrique, les deux fils sont parallèles, mais ayant leurs courans dirigés en sens contraires, le courant du fil mobile, repoussé des deux côtés par le courant du fil

fixe, tournera jusqu'à ce que les deux courans soient parallèles et dans le même sens, et dans ce mouvement chaque point du fil mobile aura décrit une demi-circonférence.

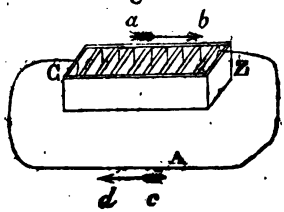
En faisant cette expérience on remarque, comme il était aisé de le prévoir, que jamais le conducteur mobile n'arrive tout de suite en repos dans la situation où il est parallèle au conducteur fixe au-dessus duquel il doit s'arrêter, mais qu'il dépasse d'abord cette situation en vertu de la vitesse acquise, pour y être ramené de nouveau, la dépasser encore et s'y fixer enfin après quelques oscillations.

10. On peut beaucoup augmenter la force directrice que le courant électrique, qui parcourt le fil E, exerce sur le conducteur mobile, en faisant revenir plusieurs fois ce fil suivant la même direction EO; par exemple, en supposant que le fil au point E arrive de dessous la table, et qu'après l'avoir étendu suivant EO, on le fasse repasser au point O sous la table pour le ramener encore au-dessus vers le point E, et l'y étendre de nouveau, suivant une direction parallèle à EO, et très-voisine de ce premier fil, ce qu'on peut faire autant de fois qu'on voudra, on augmentera à volonté l'action exercée sur le conducteur mobile. Remarquons que pour obtenir cet effet il est nécessaire que les parties du fil qui sont sous la table ne se trouvent pas trop près de celles qui sont au-dessus, parce que, sans cette précaution, le courant étant en sens contraire dans les parties inférieures et supérieures du fil, l'action exercée par les premières sur le conducteur mobile nuirait à l'effet produit par les secondes; on obvie à cet inconvénient en faisant descendre presque jusqu'à terre la partie des fils qui est sous la table.

11. Si au lieu de faire agir sur le conducteur mobile, une autre portion du conducteur qui joint les deux extrémités de la pile, on fait agir la pile elle-même, par exemple, en la plaçant au-dessous de ce conducteur, on trouve qu'elle l'amène dans une position telle que le courant de sa portion inférieure est dirigé de la partie de la pile qui est voisine de l'extrémité cuivre à la partie voisine de l'extrémité zinc; ce qui indique dans la pile un courant dirigé de la première de ces extrémités à la

seconde, c'est-à-dire dans la direction CAZ, fig. 1, comme nous l'avons expliqué (art. 1.)

Fig. 1.

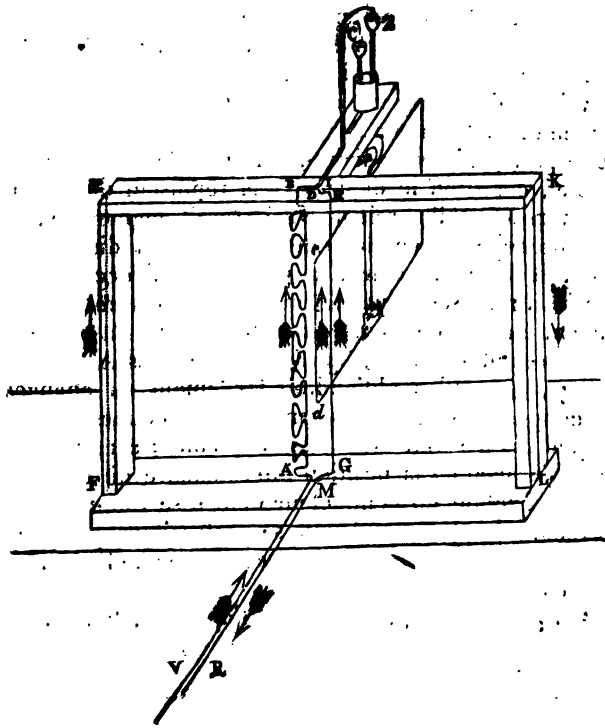


tandis que le même essai fait sur le fil conducteur ZAC indique un courant dirigé de la partie du fil en contact avec l'extrémité zinc de la pile à celle qui communique à l'extrémité cuivre, conformément à ce que nous avions déjà établi (art. 1er.)

12. L'action d'un conducteur AB, fig. 7,

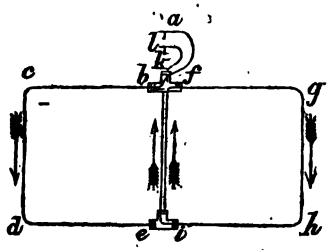
Action d'un courant qui parcourt une ligne sinueuse.

Fig. 7.



plié en ligne sinueuse ; qui s'écarte très-peu d'une ligne droite, est la même que celle d'un conducteur rectiligne GH, lorsqu'on les fait agir à la même distance sur un conducteur mobile ; c'est ce qu'il est facile de vérifier en établissant le circuit par le conducteur VABZ venant de l'extrémité positive de la pile, et par le fil CDEFGHIKLMR allant à l'extrémité négative ; alors la partie *cd* du conducteur mobile de la fig. 4,

Fig. 4.



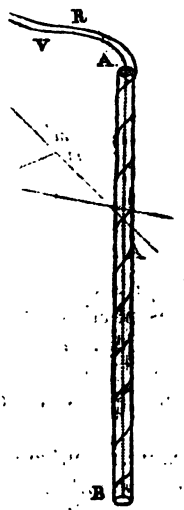
où le courant est descendant, se trouve repoussée des deux côtés par les courans AB, GH, fig. 7, qui sont ascendans ; et comme le fil mobile se fixe au milieu de l'intervalle qui sépare les deux courans, leur action est évidemment la même sur lui. On voit de plus que dans cette position intermédiaire, le fil mobile est en équilibre stable, car si on le déplaçait, la répulsion du conducteur vers lequel il aurait marché, serait augmentée, tandis que celle du conducteur opposé serait diminuée. Il tendrait donc à revenir à la position qu'il occupait d'abord. Il n'en serait pas de même si les communications étaient établies de manière que le courant fût ascendant dans le conducteur *cd*, fig. 4, comme dans AB et GH, fig. 7, (ce qu'on obtiendrait facilement en changeant de coupes les fils qui plongent dans les coupes C et Z), auquel cas il serait attiré des deux côtés ; car, pour peu qu'il s'écartât de la position intermédiaire où l'équilibre a lieu, l'action du conducteur dont il se rapprocherait, devenant la plus grande, il se porterait vers lui, et y demeurerait attaché ; c'est, au reste, ce que l'expérience vérifie.

On peut remarquer que dans l'appareil, fig. 7, pour

éviter l'action des portions de conducteur autre que AB et GH qui pourraient troubler l'effet de celles-ci, on a disposé toutes ces portions, étrangères à l'expérience, de manière que leur effet fût neutralisé ou compensé, 1° par une grande distance au fil mobile, et par une position symétrique de part et d'autre des diverses portions de ce fil, telles que EF,KL; 2° par l'opposition d'action de deux courans qui, étant très-voisins, neutralisent leur action en agissant d'une manière contraire, comme le courant de B en Z avec celui de C en D, ou bien ceux de V en A et de M en R; 3° parce que les courans des fils DE,IK, par exemple, (indépendamment de ce qu'ils tendraient à produire sur le conducteur mobile des effets qui se détruiraient mutuellement), se trouvent placés perpendiculairement au plan du conducteur mobile.

13. On fait une expérience analogue au moyen d'un seul conducteur VABR, fig. 8,

Fig. 8.



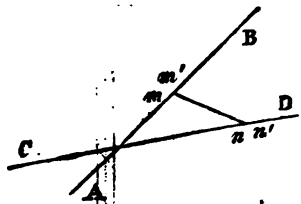
que l'on fait agir sur le fil *ed* du conducteur mobile, fig. 4. Dans le fil VBAR, le courant arrive en V de l'extrémité positive de la pile, parcourt intérieurement et en

ligne droite le tube de verre AB, de A en B, et revient extérieurement de B en A par l'hélice BAR, qui communique avec le pôle négatif. Cette hélice fait ici précisément le même effet que le conducteur sinueux de l'épaisseur précédente. Quand on place ce conducteur VABR auprès de *cd*, fig. 4, dans une direction parallèle à ce dernier, il n'y a aucun effet sensible par la compensation d'action des deux courans opposés de la partie rectiligne, et de la partie ployée en hélice du conducteur VABR.

Ceci fournit une disposition très-commode pour faire aller et venir le courant électrique, sans que l'on ait à craindre l'effet que pourraient produire les courans des fils qui l'amènent et le ramènent. On se sert aussi très-bien dans le même but de fils de cuivre recouverts de soie. Deux de ces fils tortillés ensemble sont suffisamment isolés l'un de l'autre par la soie qui les recouvre, et leur grande proximité fait que leurs effets contraires se neutralisent complétement.

14. Soient AB, CD, fig. 9,

Fig. 9.



deux courans électriques agissant l'un sur l'autre, il est évident que toutes les parties du courant AB attirent ou repoussent celles du courant CD, suivant des lois qui dépendent du sens des courans, de leur direction relative et de la distance des parties qui agissent l'une sur l'autre.

Lois des attractions et des répulsions entre deux courans électriques dirigés d'une manière quelconque.

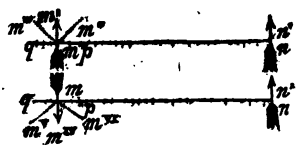
La loi de ces attractions entre deux très-petites parties de courans électriques étant une fois connue, le calcul déterminerait l'effet que doit produire l'action mutuelle de toutes les parties de l'un des conducteurs sur toutes les parties de l'autre. La question étant ainsi ramenée à connaître l'action qu'exercent l'une sur l'autre deux

petites portions des deux courans, en raison de leur direction, du sens où ils vont, et de la distance qui les sépare, voici la loi qui résulte de l'ensemble des expériences.

15. Soit mm' une petite portion du courant AB, agissant sur la petite portion nn' du courant CD, et mn la distance qui les sépare; d'abord, quant au sens de la direction des courans dans ces parties, il est aisé de constater que, tout restant le même, si l'on change le sens de la direction de l'un des courans, de celui du conducteur AB, par exemple, sans rien changer d'ailleurs à la situation de ce conducteur, l'action de la portion mm' deviendra contraire à ce qu'elle était d'abord. Quant à la manière dont la distance mn influe sur l'action mutuelle de mm' et nn', elle consiste en ce que cette action est en raison inverse du carré de mn, ainsi que nous en aurons plus loin la preuve d'après les expériences très-précises que M. Biot a faites sur ce sujet : reste à considérer comment l'action dépend des directions mm', nn' des courans.

16. Voyons d'abord ce qui aura lieu pour deux petites portions de courans situés dans le même plan : soient mm', nn', fig. 10,

Fig. 10.



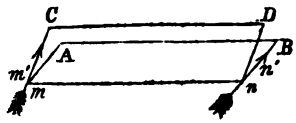
ces deux petites portions dont nous considérons l'action mutuelle ; dans le cas où elles sont l'une et l'autre perpendiculaires à la ligne mn qui joint leurs milieux, on sait qu'il y a attraction quand les courans, dont elles font partie, sont dirigés dans le même sens, comme mm', nn', et répulsion quand ils sont dirigés en sens contraires, comme mm^{IV} et nn'; dans les positions intermédiaires, il y a attraction tant que la direction nouvelle mm'' ou mm''' est du même côté de mn que la direction nn'; c'est-à-dire tant que l'angle $m''mn$ est au-dessus de zéro, ou l'angle $m'''mn$ au-dessous de deux angles droits. Seulement à mesure que l'angle $m''mn$ diminue

ou que $m'''mn$ augmente, ou, en d'autres termes, à mesure que la nouvelle direction mm'' ou mm''' s'écarte davantage de mm' qui donne le maximum d'attraction, pour se rapprocher de la ligne mn, l'action de cette portion du courant sur la portion nn' s'affaiblit; en sorte que si mm'' ou mm''' prennent la position mp ou mq, dont la direction va passer par le point n, l'action devient tout-à-fait nulle.

Quand le courant mm' est dirigé de l'autre côté de la ligne mn, comme suivant mm^{IV}, mm^{V}, mm^{VI}, les actions sont égales et contraires à ce qu'elles étaient quand le courant était dirigé au-dessus de la ligne mn; puisque mm^{V}, par exemple, est dans un sens directement opposé à mm'' et doit produire un effet contraire. Il en est de même de mm^{VI}, à l'égard de mm'''; en sorte qu'à partir de la position mm^{IV}, qui donne le maximum de répulsion, l'action répulsive va en diminuant à mesure que l'on considère des directions, mm^{V}, mm^{VI}, qui s'écartent davantage de mm^{IV}, et l'action est tout-à-fait nulle quand on arrive aux directions mq, mp, qui coïncident avec la ligne mn. Lorsque au lieu de changer seulement la direction de la portion de courant mm', on fait varier en même temps la direction nn' de manière à l'incliner aussi sur la ligne mn, l'action mutuelle de ces deux portions est affaiblie par ces deux causes à la fois, et l'on voit qu'en général deux petites portions de courans électriques situées dans un même plan, s'attirent, si leurs directions tendent vers le même côté de la ligne qui les joint; qu'elles se repoussent dans le cas contraire; et que l'action de chacune d'elles dépend de l'angle que sa direction fait avec la ligne qui les joint, cette action atteignant son maximum quand l'angle en question est droit, et devenant nulle quand la direction de cette portion de courant coïncide avec la ligne qui joint les deux portions que l'on considère.

17. Supposons maintenant que mm', nn', (fig. 11)

Fig. 11.



soient dirigées d'une manière quelconque dans l'espace. Menons par *nn'* et par la ligne *mn* le plan A*mn*B, que j'appellerai plan du courant *nn'*, et par *mm'* et la même ligne *mm'* un autre plan C*mn*D, qui sera le plan du courant *mm'*. Si l'on conçoit le plan C*mn*D d'abord couché sur le plan A*mn*B, il y aura entre *mm'* et *nn'* une attraction dont l'intensité dépendra de l'inclinaison plus ou moins grande de chacune de ces directions sur *mn*. Le plan C*mn*D de la portion de courant *mm'* se relevant ensuite, il y aura toujours attraction tant que l'angle des deux plans sera moindre qu'un angle droit. A cette limite l'action sera nulle; au delà il y aura répulsion, et répulsion croissante, jusqu'à ce que l'angle des deux plans soit égal à deux angles droits, ce qui ramène de nouveau *mm'* dans le même plan que *nn'*, mais de l'autre côté en *mm*^{IV}, et nous donne le maximum de répulsion que comportent *mm'*, *nn'*, d'après leur inclinaison sur la ligne *mn*, comme nous avions leur maximum d'attraction, quand l'angle des deux plans était zéro.

En continuant le mouvement du plan C*mn*D, on amènerait la direction *mm'* au-dessous du plan A*mn*B; comme les positions que prendrait alors *mm'* se trouveraient toujours opposées à des positions semblables, occupées auparavant par *mm'*, au-dessus du plan A*mn*B, et que dans cette direction contraire cette portion de courant doit produire des effets contraires, il est évident qu'à partir de la position où le plan C*mn*D est venu coïncider avec A*mn*B, après avoir tourné de deux angles droits, cas où l'on observe le maximum de répulsion, si l'on suppose que le plan C*mn*D continue de tourner, il y a encore répulsion depuis la position dont nous parlons, jusqu'à celle où le plan est abaissé d'un angle droit au-dessous, de manière à se trouver encore rectangulaire avec A*mn*B; dans cette dernière position, l'action devient nulle une seconde fois, et se change en attraction depuis cette limite jusqu'à celle où le plan C*mn*D revient de nouveau coïncider avec A*mn*B, après avoir décrit une circonférence entière, et reproduit ainsi entre *mm'* et *nn'* le maximum d'attraction.

La nature de l'action qui a lieu entre deux portions *mm'*, *nn'* de courans électriques, dépend donc de l'angle

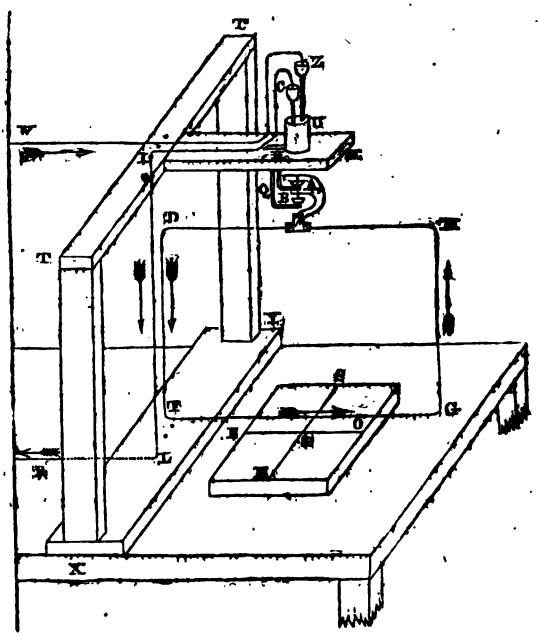
que font leurs plans, de manière qu'en prenant, pour toutes les deux, ces plans du côté de la ligne *mn* vers lequel tendent les courans, et l'angle qu'ils forment du côté où il est moindre que deux angles droits, il y a attraction, tant que l'angle de ces plans est plus petit qu'un angle droit, action nulle quand cet angle est droit, et répulsion quand il surpasse cette valeur; lorsque cet angle est zéro ou égal à deux angles droits, on obtient le maximum d'attraction ou de répulsion.

Effets produits par l'action du globe terrestre sur les courans électriques.

Effet analogue à la direction de l'aiguille aimantée.

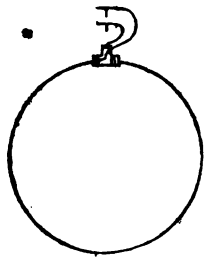
18. Le globe terrestre agit pour diriger les courans mobiles, comme nous l'avons déjà dit. Si l'on suspend toujours de la même manière, à l'appareil représenté fig. 3, un conducteur mobile simple, comme celui de la figure 3,

Fig. 3.



plié en rectangle, ou celui de la figure 6,

Fig. 6.



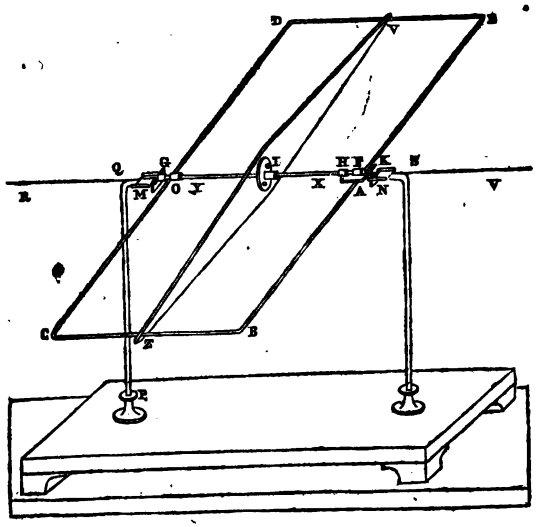
plié en cercle, qu'il n'y ait près de ce conducteur aucune autre portion du circuit, et qu'on y établisse ensuite le courant électrique par le moyen des deux coupes Z et C, fig. 3, on voit ce conducteur tourner jusqu'à ce que son plan soit perpendiculaire au méridien magnétique. Pour s'en assurer, on place au dessous du centre de mouvement du conducteur, un carton sur lequel sont tracées deux lignes rectangulaires EO, NS, dont le point d'intersection P est verticalement au-dessous de la pointe A, qui sert de pivot; si l'on a d'avance, au moyen d'une aiguille aimantée, disposé ces lignes de manière que NS soit la direction de cette aiguille, N étant l'extrémité qui se dirige vers le nord, on verra le fil mobile tourner jusqu'à ce que la ligne FG soit parallèle à la ligne EO, et que la direction FG du courant dans la partie inférieure du conducteur soit de l'est à l'ouest. Le conducteur mobile se fixera constamment à cette position, après quelques oscillations, et si on le met dans cette direction, mais avec le courant en sens contraire, il se retournera et décrira une demi-circonférence, pour reprendre après plusieurs oscillations la position que nous venons d'indiquer.

En rapprochant ce résultat de l'expérience décrite (art. 9), on voit que le conducteur mobile est dirigé dans ce cas, comme il le serait par des courans électriques, qui auraient lieu dans le globe terrestre, et qui seraient dirigés de l'est à l'ouest perpendiculairement au méridien magnétique.

Effet analogue à l'inclinaison de l'aiguille aimantée.

19. On observe aussi un effet analogue à l'inclinaison de l'aiguille aimantée; pour cela on dispose un conducteur ABCDEF, fig. 12,

Fig. 12.



dans lequel le courant arrivant par VS et par le tourillon d'acier K, posé sur une plaque métallique N, parcourt le rectangle ABCDEF pour revenir au travers du tube XY, qui sert d'axe à l'appareil, à un autre tourillon G, qui pose sur la plaque M en communication, avec le pose négatif de la pile par le fil QR. Un lozange ZIV en bois, très-léger, fixé sur l'axe XY, soutient le rectangle mobile et sert à empêcher la flexion. Cet appareil se met en mouvement pour s'incliner dès que l'on établit le circuit; pourvu qu'on ait eu soin d'abord de placer l'axe XY dans une direction horizontale et perpendiculaire au méridien magnétique, afin que l'action de la terre subsiste tout entière pour faire tourner le plan du conducteur autour de cet axe, et ensuite que les différentes parties de ce conducteur, de part et d'autre de l'axe, soient bien en équilibre pour que la pesanteur n'ait au-

cune action sur lui, dans toutes les positions qu'on voudra lui donner. Avec ces précautions et celle de mettre un peu de mercure sur les plaques qui servent de support, pour mieux établir la communication par les tourillons d'acier, on observe que, quelle que soit la position qu'on donne au conducteur, il ne reste en repos que dans la situation où son plan est perpendiculaire à la direction connue de l'aiguille d'inclinaison, et que de plus le courant est dirigé de l'est à l'ouest, dans la partie BC, où nous supposons que le courant va de B en C, qui se trouve, quand l'appareil s'arrête en équilibre, au midi de l'axe FO et au-dessous du plan horizontal, qui passe par cet axe. Dans toute autre position le conducteur se met en mouvement pour se rapprocher de cette situation, et venir enfin s'y fixer après quelques oscillations.

En se rappelant la manière d'agir des courans électriques parallèles, on voit que cet effet se trouve expliqué par la même supposition des courans électriques dirigés de l'est à l'ouest dans le globe de la terre, perpendiculairement au méridien magnétique, en admettant de plus que ces courans sont en général situés vers le midi du lieu où se fait l'expérience, car alors ils doivent attirer vers eux la partie BC, dans laquelle le courant est aussi de l'est à l'ouest, repousser DE, où il a une direction contraire, et par conséquent incliner le conducteur comme nous venons de dire qu'il s'incline réellement.

On peut graver facilement dans sa mémoire ces deux effets de l'action du globe terrestre sur les courans électriques, en remarquant que le plan du conducteur mobile est dirigé dans les deux cas, de manière à prendre la même position qu'un plan perpendiculaire à la ligne qui joint les deux pôles de l'aiguille aimantée.

Action mutuelle des courans électriques et des aimans.

Action d'un conducteur voltaïque sur l'aiguille aimantée.

20. Si l'on dispose un fil conducteur parallèlement à une aiguille aimantée ordinaire, c'est-à-dire horizontalement et dans la direction du méridien magnétique; le courant allant du sud au nord on observe les phénomènes suivans :

1°. Quand le fil est au-dessus de l'aiguille, le pôle aus-

tral de celle-ci [1] est dérangé de la position que lui donnait le globe et jeté vers l'ouest; 2° si le fil est au-dessous de l'aiguille ce même pôle est jeté vers l'est; 3° si le fil est à la même hauteur que l'aiguille et à l'est, la déclinaison ne change pas, mais l'aiguille s'incline dans un plan vertical, le pôle austral étant alors relevé; 4° le fil étant à la même hauteur que l'aiguille, mais à l'ouest, l'aiguille s'incline encore, mais le pôle austral est abaissé.

Lorsque le courant est dirigé du nord au sud, toutes les déviations de l'aiguille ont lieu en sens contraire de celles que nous venons d'indiquer.

On doit la découverte de ces faits à M. Œrsted qui les a publiés en 1820. Son mémoire, imprimé dans les Annales de chimie et de physique (tome XIV, pag. 417), contient aussi quelques autres observations, dont nous parlerons dans la suite. Nous devons faire connaître auparavant les résultats du travail de M. Ampère sur ce genre d'action; parce que ce travail fait immédiatement après la découverte de M. Œrsted, dégage les faits observés par ce dernier des circonstances qui en compliquaient les lois, qu'il les généralise et les ramène à la théorie que nous venons d'exposer.

Le courant qui a lieu dans la pile agit comme celui du fil conducteur.

21. Dans l'expérience de M. Œrsted on peut remplacer le courant du fil conducteur par celui qui a lieu dans la pile même, en ayant soin de la disposer de telle sorte que le courant y ait la même direction qu'il avait précédemment dans le fil, et si l'on place deux aiguilles l'une sur la pile CZ, fig. 1, l'autre sur le fil ZAC, au-dessus de la partie A parallèle à la pile (la pile et cette partie du fil étant dirigées suivant le méridien magnétique) on voit les deux aiguilles éprouver des déviations opposées, quand on établit le circuit, parce que le courant est dirigé en sens contraire au-dessous des deux aiguilles. Cette expérience est analogue à celle que nous avons décrite (art. 11), où pour agir sur un conducteur mobile on a pareillement remplacé le courant d'un fil conducteur par celui de la pile.

Galvanomètre proposé par M. Ampère.

22. Lorsqu'une aiguille est ainsi déviée par l'action du

[1] C'est, comme on sait, l'extrémité de l'aiguille qui se dirige vers le nord du globe.

courant électrique de la direction qu'elle prend naturellement, il faut concevoir que la force directrice du globe se compose avec la force qui résulte de l'action du courant électrique, en sorte que dans la position où elle se fixe sous l'influence du fil conducteur, il y a équilibre entre l'action du globe pour ramener l'aiguille au méridien magnétique et celle qu'exerce ce fil pour l'en écarter; à mesure que la pile s'affaiblit cette déviation diminue. Une aiguille aimantée placée sur la pile, que l'on aurait soin de mettre dans la direction du méridien magnétique, deviendrait donc un moyen de connaître à chaque instant la force du courant dans cette pile, ce serait par conséquent un galvanomètre dont les indications se rapporteraient au courant lui-même, et d'autant plus utile que c'est dans cet état de la pile, quand le circuit est fermé, et que les électroscopes ordinaires ne peuvent donner aucune indication, que se manifestent les phénomènes chimiques et physiologiques, ainsi que les phénomènes de lumière et de chaleur.

23. Remarquons maintenant que, dans les expériences de M. Œrsted, les différens effets que produit le courant électrique quand il est au-dessus ou au-dessous, à l'est ou à l'ouest de l'aiguille, peuvent être ramenés à un seul fait si on les rapporte à la cause dont ils dépendent, c'est-à-dire à la position du courant par rapport à l'aiguille. Pour se faire une idée nette de cette position et définir la direction du courant relativement à l'aiguille, concevons un observateur placé dans le courant de manière que la direction de ses pieds à sa tête soit celle du courant, et que sa face soit tournée vers l'aiguille; on voit alors que dans toutes les expériences rapportées ci-dessus le pôle austral de l'aiguille aimantée est porté à la gauche de l'observateur ainsi placé. En effet, dans la première le courant étant au-dessus de l'aiguille, l'observateur, les pieds au sud, la tête au nord, et regardant l'aiguille, a sa gauche à l'ouest, côté vers lequel est jeté le pôle austral; dans la seconde le fil étant au-dessous, le même observateur, la face toujours tournée vers l'aiguille, a sa gauche vers l'est, et c'est en effet vers l'est que marche le même pôle; dans la troisième le courant étant à l'est de l'aiguille l'observateur regardant l'aiguille qui est à la même hau-

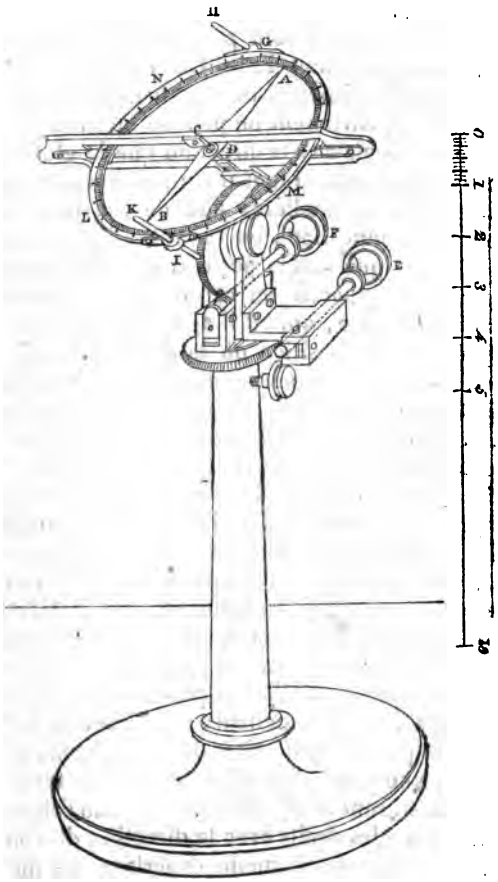
teur que lui, a la droite en bas, la gauche en haut, et le pôle austral est relevé; dans la 4e expérience c'est la gauche de l'observateur qui est en bas, et le pôle austral de l'aiguille est abaissé; enfin, si l'on change le sens du courant on changera la situation de l'observateur, et la direction de ses pieds à sa tête étant contraire, la position de sa gauche sera contraire aussi, et on obtiendra, en suivant la même règle que tout à l'heure, des déviations en sens contraire, ainsi que les donne l'expérience.

La position de l'observateur dans le courant, la face tournée vers l'aiguille et la direction de ses pieds à sa tête la même que celle du courant, étant ainsi complétement déterminée, et servant à définir exactement toutes les circonstances de la situation d'un courant électrique par rapport à un aimant, indépendamment de leur position absolue dans l'espace, on peut, pour abréger, quand il s'agit de cette situation relative, appeler la gauche et la droite du courant, la gauche et la droite de l'observateur placé comme nous venons de le dire; et d'après cette convention nous énoncerons la règle à laquelle se ramènent les expériences de M. Œrsted, en disant que le pôle austral de l'aiguille soumise à l'action du courant électrique est toujours jeté vers la gauche de ce courant. Nous trouverons bientôt la raison de ce fait en le ramenant au fait très-simple de la direction que deux courans électriques tendent mutuellement à se donner quand ils agissent l'un sur l'autre.

Moyens de déterminer la direction que le courant électrique donne à une aiguille aimantée soustraite à l'action de la terre.

24. Il serait impossible de déterminer exactement dans quelle situation un courant électrique tend à amener l'aiguille aimantée sur laquelle il agit, si l'on n'isolait pas cette action de celle qu'exerce le globe, pour observer les effets du conducteur seul. C'est à quoi l'on parvient en suspendant une aiguille semblable à l'aiguille d'inclinaison, de manière que le globe n'ait aucune action pour la diriger. Telle est, par exemple, l'aiguille de l'instrument représenté fig. 13,

Fig. 13.



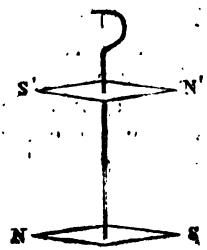
qui permet de donner à l'axe CD qui porte l'aiguille AB toutes les directions possibles, au moyen des deux vis de rappel E,F, dont l'une sert à le faire tourner autour d'un axe vertical, et l'autre à l'incliner à volonté; un cercle LMN attaché aux deux règles de cuivre qui portent cet axe, et divisé en degrés, sert à mesurer la déviation qu'éprouve l'aiguille par l'action du fil conduc-

teur; les supports GH et IK, d'une substance isolante, telle que l'ivoire, sont destinés à fixer ce fil au-dessus de l'aiguille à la distance qu'on veut, en le faisant passer dans des trous qui y sont pratiqués de distance en distance. Lorsqu'on met l'axe CD dans la direction que prend l'aiguille d'inclinaison dans le lieu où l'on se trouve, l'aiguille de l'instrument ne peut se mouvoir que dans un plan perpendiculaire à la direction que le globe tend à lui donner, et par conséquent il n'a plus aucune action pour la diriger. Il est d'ailleurs aisé de s'assurer que l'on a rempli cette condition, en voyant si l'aiguille reste immobile quelle que soit la position qu'on lui donne.

Avec cet appareil on reconnaît facilement que le courant électrique, quand il agit seul, amène l'aiguille aimantée dans la position où la ligne qui joint les pôles de cette aiguille est perpendiculaire à la direction du courant, et où son pôle austral est à la gauche du courant. C'est la position où l'on voit constamment se fixer l'aiguille. Elle la dépasse d'abord en vertu de la vitesse acquise, puis y revient, la dépasse encore et s'y arrête enfin après un nombre d'oscillations d'autant plus grand que l'aiguille est plus mobile; cette loi s'observe toujours, quelle que soit au commencement de l'expérience sa direction et celle du courant. Le pôle austral de l'aiguille fait d'autant plus de chemin pour arriver à la position indiquée qu'il en est primitivement plus éloigné, en sorte même que si l'on dispose le conducteur de manière qu'il soit perpendiculaire à la direction de l'aiguille, mais que le pôle austral soit à droite du courant, ce pôle parcourra une demi-circonférence pour venir se placer à gauche du courant, l'aiguille étant comme dans sa position primitive à angles droits avec la direction du conducteur.

25. On peut faire la même expérience au moyen d'un appareil plus simple, fig. 14.

Fig. 14.

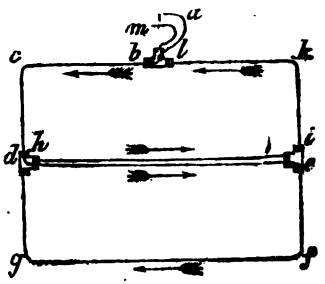


dans lequel les deux aiguilles SN, S'N' sont attachées au même pivot, et ont leurs pôles en sens contraires, de manière que la force directrice du globe sur l'une est détruite par l'action contraire qu'il exerce sur l'autre. On s'assure au commencement de l'expérience qu'elles restent immobiles dans toutes les directions qu'on leur donne. Le pivot qui les porte peut se placer dans l'une des coupes de l'appareil fig. 3, qui sert alors seulement de support. Lorsque le fil conducteur est au-dessous de l'aiguille SN ou au-dessus de l'aiguille S'N', il est nécessaire que les deux aiguilles soient suffisamment éloignées l'une de l'autre, pour que les fils conducteurs que l'on fait agir sur l'une n'agissent pas trop fortement en sens contraire sur l'autre. Le courant étant disposé horizontalement, on voit, dans cette expérience comme dans la précédente, l'aiguille la plus voisine du fil conducteur se fixer dans la direction perpendiculaire à ce fil, son pôle austral se plaçant toujours à gauche du courant. Lorsqu'au contraire le conducteur est placé entre les deux aiguilles, il agit dans le même sens sur toutes les deux, et son action est d'autant plus énergique qu'elles sont plus rapprochées l'une de l'autre.

Action d'un aimant sur un conducteur mobile.

26. Réciproquement, si l'on fait agir un aimant sur un conducteur mobile, on trouve que la position où ce conducteur se fixe, après avoir oscillé autour d'elle, est telle que sa direction fait un angle droit avec la ligne des pôles de l'aimant, et que le pôle austral se trouve toujours à gauche du courant. Il est évident d'ailleurs qu'il faut employer ici un conducteur, sur lequel le globe n'ait aucune action directrice comme celui que nous avons décrit (art. 9.) On placera l'aimant de manière que son milieu soit au-dessous du milieu de la partie *fg*, fig. 5,

Fig. 5.



du conducteur mobile, et quand le conducteur se sera fixé, on observera toujours que la ligne *fg* fait un angle droit avec la ligne des pôles de l'aimant, et que le pôle austral de ce dernier est à gauche du courant.

Recherches sur la cause de ces phénomènes.

27. Pour remonter à la cause de ces phénomènes, dont nous avons maintenant la loi, remarquons que l'aiguille aimantée est dirigée par le globe, comme elle le serait par des courans électriques, situés dans la terre et dirigés de l'est à l'ouest perpendiculairement au méridien magnétique; car ces courans, étant sous l'aiguille, dirigeraient, d'après ce que nous venons de dire, son pôle austral vers le nord, comme la terre le dirige en effet. Nous avons déjà été conduits (art. 18 et 19) à assimiler l'action du globe sur les conducteurs mobiles à celle des pareils courans. Ainsi quelle que soit la nature de cette dernière action, on ne peut douter qu'elle ne soit identique à celle qui dirige les aimans; et nous allons faire voir, par tout ce qui suit, qu'elle ne diffère point de l'action que deux courans électriques exercent l'un sur l'autre, et dont nous avons précédemment étudié les effets. On aurait pu évidemment déterminer *à priori*, comment le globe doit diriger les aimans, si l'on eût connu seulement l'action du globe sur les conducteurs mobiles et celle des conducteurs sur les aimans. Car sachant que l'effet produit par le globe sur un conducteur mobile, est le même que celui d'un courant de l'est à l'ouest situé dans la terre, on aurait vu de suite qu'un pareil courant doit diriger, du nord au sud, l'aiguille qui est au-dessus de lui, et que le pôle de l'aiguille qui, dans toutes les expériences, se met à gauche du courant, est précisément celui qui doit être tourné vers le nord par l'action du globe.

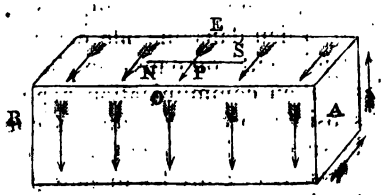
Remarquons aussi que les aimans dirigent un courant mobile exactement comme le fait le globe lui-même. En effet nous avons vu (art. 18) que dans la position où se fixe le courant mobile sur lequel agit le globe terrestre, le pôle austral de la terre est à gauche d'un observateur placé dans la direction de ce courant, et qui regarderait la terre, puisque cette position est celle où le courant est perpendiculaire au méridien magnétique, et dirigé de l'est à l'ouest. La position qu'il prend alors

est donc précisément celle que lui donnerait un aimant dont les pôles de même nom seraient situés comme ceux de la terre.

28. D'après l'analogie incontestable des pôles de même nom, soit de la terre, soit des aimans, et puisque nous avons vu que nous pouvions assimiler l'effet produit par le globe, soit sur un conducteur mobile, soit sur un aimant, à celui d'un courant électrique dirigé de l'est à l'ouest, nous devons pouvoir rendre raison de tous les phénomènes que présentent les aimans, en imaginant dans ceux-ci une disposition analogue à celle que, dans le globe, nous avons reconnu pouvoir produire les phénomènes observés; en un mot, si nous mettons, par la pensée, le pôle austral d'un aimant à la place du pôle austral du globe, et son pôle boréal à la place du pôle boréal du globe, nous devons reconnaître autour de l'axe de cet aimant un courant électrique dirigé de l'est à l'ouest.

Nous nous représenterons donc, figure 15,

Fig. 15.

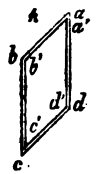


sur la surface de l'aimant AB, une infinité de courans électriques situés tout autour dans des plans perpendiculaires à l'axe, et dans la direction que marquent les flèches; en effet, en concevant le pôle boréal B de cet aimant à la place du pôle boréal de la terre, et le pôle austral A à la place du pôle de même nom de la terre, on voit que, pour un point P quelconque pris sur l'aimant, N serait le nord, S le sud, E l'est et O l'ouest, la direction des courans à la surface serait donc EO, comme le représentent toutes les flèches.

Mais ce n'est pas seulement sur la surface de l'aimant, c'est aussi dans son intérieur qu'on doit, pour rendre

raison de tous les phénomènes, admettre des courans électriques. En isolant par la pensée une tranche *abcd* fig. 16,

Fig. 16.



infiniment mince et comprise entre deux plans perpendiculaires à l'axe l'aimant AB, on comprendra plus facilement la disposition des courans dans l'intérieur de l'aimant. Supposons donc qu'il existe, dans le contour *abcd* de cette tranche, le même état électrique qui a lieu dans une pile dont les deux pôles sont en communication, comme, par exemple, si toutes les molécules de *a* en *b*, de *b* en *c*, etc., s'enlevaient l'une à l'autre l'électricité positive de manière à la transporter suivant *abcda*, et l'électricité négative en sens contraire, exactement comme la chose a lieu dans une pile circulaire, dont les deux pôles se rejoignent, ou dans une pile ordinaire dont les deux pôles sont en communication par un fil métallique; cette disposition produirait un des courans qui se trouvent sur la surface de l'aimant. On concevra immédiatement au-dessous et entre les mêmes plans une autre série de molécules *a'b'c'd'* formant un circuit fermé comme les précédentes, et dans cette série un courant dirigé dans le même sens que le premier, et ainsi de suite jusqu'au centre de la section de l'aimant. Tous ces courans dirigés dans le même sens uniront leurs actions, et l'aimant entier AB sera composé d'une infinité de tranches pareilles qui en seront pour ainsi dire les élémens.

29. Les courans électriques d'un aimant étant disposés autour de son axe dans des courbes fermées, lorsqu'ils agissent sur d'autres courans situés à côté de cet aimant, ce n'est jamais qu'en vertu de la différence des actions de la partie de l'aimant voisine des points sur lesquels

il agit et de la partie opposée où les courans vont en sens contraire; comme, par exemple, l'action de la tranche *abcd*, sur un point *k* d'un courant électrique, serait la différence entre l'action des courans *ab*, *a'b'*, etc., voisins de *k*, et l'action opposée des courans *cd*, *c'd'*, etc., qui sont dirigés en sens contraire. Mais ceux-ci agissant toujours de plus loin, il suffira ordinairemet pour avoir la nature de l'action de considérer celle des courans dans la partie de l'aimant la plus voisine des points sur lesquels on veut connaître son action.

30. D'après cette manière de considérer tous les phénomènes qu'offrent les aimans comme des phénomènes purement électriques, le pôle boréal et le pôle austral ne sont distingués l'un de l'autre que par leur différente situation, relativement aux courans qui entourent l'axe de l'aimant. Cette situation est la même que celle des pôles de même nom de la terre par rapport aux courans du globe. Or, dans celui-ci les courans vont de l'est à l'ouest, et par conséquent en y plaçant un observateur, comme nous l'avons supposé placé dans le fil conducteur, cet observateur a les pieds à l'est, la tête à l'ouest, et la face tournée vers les points extérieurs au globe sur lesquels le courant doit agir. Il tourne donc le dos à l'axe du globe, et a le pôle austral à sa droite et le pôle boréal à sa gauche. Il en est de même pour les aimans, et concevant toujours que l'observateur, qui est placé dans leurs courans, tourne le dos à l'axe, pour faire face aux points extérieurs sur lesquels ces aimans agissent.

Nous dirons donc que dans les aimans, comme dans le globe, le pôle austral est à droite des courans que nous y admettons.

Ainsi, dans l'aimant AB, fig. 15, en supposant connue la direction des courans, on verrait de suite que le pôle austral est le pôle A, situé à droite des courans, en prenant ce mot *à droite* dans l'acception que nous avons définie.

Cette seule différence de situation suffit pour rendre raison des effets contraires que produisent les deux pôles de l'aimant, dans tous les cas où ils n'agissent pas de la même manière.

31. Nous n'examinerons pas ici les causes que l'on

peut supposer naturellement devoir produire dans le globe et dans les aimans, les courans auxquels nous venons d'être conduits; quelles qu'elles soient, les considérations qui nous ont fait admettre l'existence de ces courans prouvent qu'ils agissent précisément comme ceux des fils conducteurs, dont nous avons déjà reconnu par l'expérience la manière d'agir les uns sur les autres : nous allons montrer maintenant comment on en peut déduire l'explication de tous les faits précédemment connus, et de ceux que ces mêmes considérations ont conduit à découvrir.

32. Observons d'abord qu'on peut en tirer de suite la raison de ce fait établi (art. 23), que les aimans non dirigés par le globe, se mettent à angles droits avec les courans électriques, de manière que leur pôle austral soit à gauche du courant; car nous avons vu (art. 9), que quand on fait agir un courant fixe sur un autre courant libre de tourner autour d'un de ses points, ce dernier est amené, par leur action mutuelle, dans la situation où il est parallèle au second, et dirigé dans le même sens.

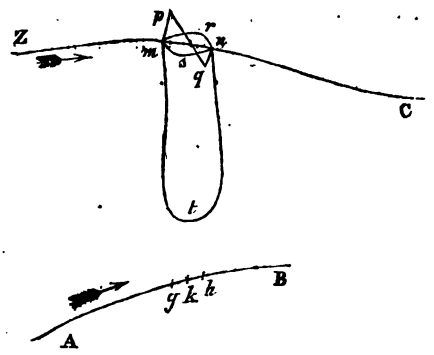
Or, si nous faisons agir un fil conducteur sur un aimant, considéré comme l'assemblage des courans en courbes fermées qui entourent son axe; ces courans, dans leur partie la plus voisine du fil conducteur, devront tendre à se mettre dans une direction parallèle à celle de ce fil, de manière que le sens des courans soit le même dans le fil et dans la partie de l'aimant qui en est voisine; et comme les courans de l'aimant sont dans des plans perpendiculaires à son axe; cet axe lui-même sera à angles droits avec le fil conducteur. Mais de plus nous venons de voir que pour un observateur, situé dans la direction des courans d'un aimant, c'est-à-dire de manière que le courant aille de ses pieds à sa tête, et que sa face soit tournée vers le fil conducteur, le pôle austral est à sa droite; ce même pôle sera donc à gauche de l'observateur placé dans la direction du courant du fil et regardant l'aimant comme le donne l'expérience.

Conséquences de l'égalité d'action observée entre deux conducteurs l'un rectiligne et l'autre plié

33. Avant d'aller plus loin, il est indispensable de déduire quelques conséquences nécessaires à l'intelligence de ce qui nous reste à dire sur ce sujet, du fait énoncé plus haut, relativement à l'égalité de l'action d'un con-

ducteur sinueux et d'un conducteur rectiligne, quand la distance à laquelle ils agissent est la même. On en peut conclure que, si au conducteur quelconque *ZmrnC*, fig. 20, en ligne sinueuse.

Fig. 20.

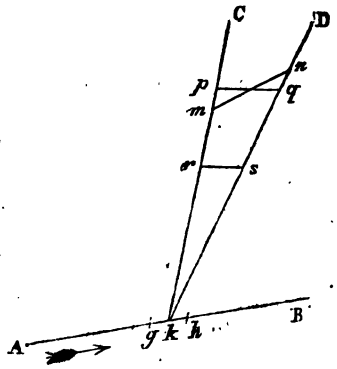


on en substitue un autre *ZmsnC*, qui n'en diffère que dans la très-petite partie qui va du point *m* au point *n*, les deux actions exercées par ces deux conducteurs, sur un point *k* d'un courant quelconque AB, ou plutôt sur la petite portion *gh* de ce courant, dont le milieu est en *k*, seront égales; d'où il suit que les actions des deux petites portions *mrn*, *msn*, par lesquelles seules ils diffèrent, le seront aussi, et qu'on peut toujours supposer qu'à une petite portion d'un courant électrique, comprise entre deux points infiniment voisins, on substitue une autre portion brisée ou contournée d'une manière quelconque, sans que l'action soit changée, du moins tant que la nouvelle portion ne s'éloigne pas à une distance finie de la première; car si cela arrivait, comme dans le cas où l'on remplacerait la portion *mrn* par *mtn*, par exemple, qui s'en éloigne à une distance finie, l'action serait changée, à cause du changement de la distance au point *k* de cette partie *mtn* du conducteur.

34. On voit par-là qu'à la place d'une portion *mn*, infiniment petite, rectiligne, ou considérée comme telle, on peut substituer l'assemblage de trois petites portions

rectilignes mp, pq, qn, dans des directions prises à volonté : cette transformation est très-commode pour le calcul de l'action d'un courant curviligne, parce qu'elle sert à remplacer l'action de la différentielle de l'arc qu'il décrit par celle de la réunion des trois différentielles des coordonnées; mais comme nous ne nous proposons pas de donner ici ce calcul, nous en conclurons seulement que les deux petites portions de courans mn, pq, fig. 21,

Fig. 21.



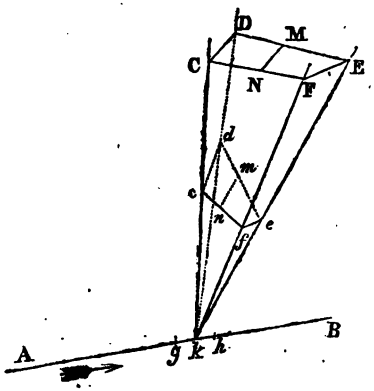
comprises entre les lignes kC, kD, passant par le milieu k de la petite portion gh d'un troisième courant, exercent sur gh des actions égales, quand ces deux portions mn, pq, sont à la même distance du point k. En effet, d'après ce qu'on vient de voir, l'action de mn est égale à celle de la ligne brisée $mpqn$, dont les deux parties mp, qn, n'exercent aucune action sur gh, d'après ce que nous avons vu (art. 16), puisqu'elles sont dirigées suivant des droites qui passent par le point k; il ne reste donc que l'action de pq, égale à celle de mn.

35. Il suit de là que deux portions de courans électriques de même intensité, telles que rs et mn, situées dans le plan CkD, et terminées par les droites kC, kD, exercent sur gh des actions qui sont en raison inverse des distances kr, km; car à la place de mn, on peut substituer pq, parallèle à rs, dont l'action sera la même que celle de mn; or l'action de rs est à celle de pq : : $\frac{rs}{kr^2}$: $\frac{pq}{kp^2}$,

à cause que $rs : pq :: kr : kp$, ce rapport se réduit à celui de $\frac{1}{kr} : \frac{1}{kp}$, et comme kp et hm ne diffèrent que d'une quantité infiniment petite, on a l'action de rs est à celle de $mn :: km : kr$.

36. Considérons maintenant deux portions infiniment petites, CDEF, *cdef*, fig. 22,

Fig. 22.



de deux surfaces terminées par des plans passant par le milieu k de gh, ou par une surface conique dont le sommet soit en k; et supposons ces surfaces couvertes de courans électriques de même intensité, et à la même distance les uns des autres, de manière que les directions des courans d'une des deux portions de surfaces soient les projections des directions de ceux de l'autre sur la première surface lorsqu'on met le centre de projection en k, nous reconnaîtrons aisément que chaque courant d'une des surfaces infiniment petites CDEF, *cdef*, exerçant une action qui est à celle du courant correspondant de l'autre surface, en raison inverse des distances de ces surfaces au point k : et le nombre des courans de chaque surface étant en raison directe des mêmes distances, l'action totale doit être la même; en sorte que si les courans des deux petites surfaces sont dans le même sens, l'effet qu'elles produiront sur gh sera aussi

le même; que s'ils sont en sens contraire, les effets seront encore égaux, mais opposés; et que si, dans ce dernier cas, ils ont lieu en même temps, ils se détruiront mutuellement. La même égalité d'action sur *gh* a lieu lors même que les deux surfaces ont une grandeur finie, en les supposant toujours terminées par une surface pyramidale ou conique, dont le sommet soit en *k*; puisque chaque élément de l'une exerçant la même action que l'élément correspondant de l'autre, et dans la même direction, on aura, pour chacune de ces deux surfaces, la même résultante.

Analogie entre les surfaces couvertes de courans électriques, et celles qui rayonnent de la chaleur ou de la lumière.

37. Cette propriété des surfaces, couvertes de courans électriques de même intensité, est analogue aux propriétés connues des surfaces également échauffées ou éclairées dans tous leurs points, qui, comme on sait, produisent le même effet sur un point donné, quelle que soit leur étendue et leur forme, lorsqu'elles sont comprises entre les génératrices d'une même surface conique, dont le sommet est à ce point, ou, en d'autres termes lorsque vues de ce point elles ont l'une et l'autre la même projection sur une surface sphérique infinie dont le point donné est le centre. Mais il y a pour les courans électriques une condition de plus, c'est qu'il faut que la disposition des courans qui couvrent les surfaces soit telle que MN étant la direction du courant dans la surface CDEF, *mn* contenue dans le plan MN*k*, soit la direction du courant dans la surface *cdef*, autrement l'action des courans de *cdef* sur *gh* serait autre que dans l'hypothèse où leur direction était *mn* et il n'y aurait plus égalité d'action entre les deux surfaces.

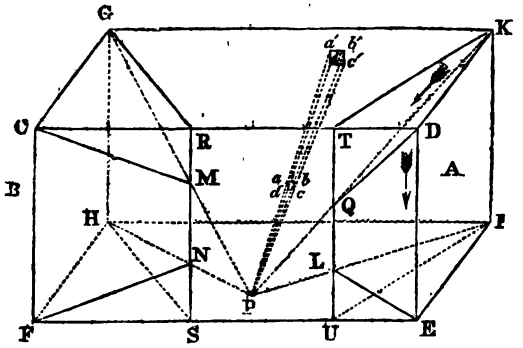
Application de ces considérations aux propriétés générales des aimans.

38. L'application que l'on peut faire de cette analogie aux propriétés générales des aimans, mérite d'être examinée parce qu'elle jette un grand jour sur les diverses circonstances de leur action, quand on considère les courans des surfaces opposées d'un aimant, comme nous venons de considérer ceux des surfaces CDEF, *cdef*; mais cette application n'est pas rigoureuse, parce que les courans des surfaces opposées d'un aimant ne satisfont pas exactement à la condition que MN soit la projection de *mn* relativement au point *k*; c'est pourquoi nous n'emploirons ce genre de considération que pour en tirer

des inductions générales sur les effets des aimans. Dans l'examen des faits particuliers nous ferons usage d'une méthode de démonstration tout-à-fait rigoureuse.

39. Représentons-nous donc, conformément à ce qui a été dit (art. 28), l'aimant AB, fig. 17,

Fig. 17.



comme composé de plusieurs enveloppes prismatiques rectangulaires semblables, qui se recouvrent depuis l'axe jusqu'à la surface de l'aimant, et qui soient couvertes en tous leurs points de courans d'égale intensité; dont la direction soit telle que le représente la figure, et soit P le point sur lequel nous considérons l'action de ces enveloppes, en nous bornant même, pour abréger, à l'enveloppe extérieure formée des quatre rectangles CDEF, CDKG, HIKG, HIEF; toutes les autres qui agissent de même ne faisant qu'augmenter l'action de celle-ci.

A chaque petite surface *abcd* prise sur la face antérieure de l'enveloppe et entre les plans GHSR et KTUI menés par le point P et les lignes HG et IK, il répond toujours une autre petite surface *a'b'c'd'* dont l'action est égale et contraire à celle de la première en sorte que toute la surface GRTKIUSH qui est celle d'un prisme tronqué, sera sans action sur le point P de plus, si l'on mène par CG et par le point P le plan CMG qui coupe CRSF suivant CM les actions des deux surfaces CRM, CRG, comprises entre trois plans menés par le point P et par CR, CG, GH se détruiront mutuellement

et on peut en dire autant des surfaces FSN, FSH comprises aussi entre trois plans passant par le point P, il ne restera donc en définitive pour agir sur le point P que la portion en trapèze FCMN de la surface de l'aimant, et une autre portion DQLE de la même surface, située à l'autre extrémité et déterminée de la même manière.

On peut donner au point P sur lequel agissent ainsi les extrémités de la surface de l'aimant, une position telle qu'il éprouve de l'une des extrémités une action contraire à celle que l'autre exerce sur lui. C'est ce qui a lieu si ce point est situé hors des plans CGHF, DKIE, qui terminent l'aimant, du côté du pôle B, par exemple; car on reconnaît facilement alors que vers l'extrémité A de l'aimant il reste, compensation faite, une portion de la surface CDEF pour agir sur P (portion déterminée comme tout à l'heure nous avons déterminé DQLE), tandis que vers l'extrémité B, après des compensations analogues ce sera une portion de la surface GKIH qui restera agissante, et dont l'action sera contraire à celle de la portion qui agit dans la surface CDEF. Quand le point P est dans le plan CGHF l'action de l'extrémité B de l'enveloppe est nulle, et il ne reste plus que l'action de l'extrémité A. Lorsque le même point est hors des plans qui terminent l'aimant, les deux actions contraires des extrémités A et B se composent entre elles, en sorte qu'il y a une certaine position du point P où ces deux actions se détruisent complétement, enfin passé cette limite l'action de la portion non compensée de la surface postérieure vers l'extrémité B, l'emporte sur l'action de la portion non compensée de la surface extérieure vers l'extrémité A, et l'effet sur le point P devient contraire.

Ce que nous venons de dire pour la surface extérieure de l'aimant, doit être dit pour toutes les surfaces semblables, ou pour mieux dire pour toutes les enveloppes semblables, d'une épaisseur infiniment mince, dont l'assemblage pris depuis la surface de l'aimant jusqu'à son axe, forme l'aimant entier. D'après la manière dont nous avons considéré les courans intérieurs dans l'aimant, chacune de ces enveloppes pourra être considérée comme couverte en tous les points de portions de courans aux-

quelles on pourra appliquer tout ce que nous venons de dire.

Enfin il est évident que les compensations dont il a été question, ayant lieu pour les parties infiniment petites des surfaces opposées qui sont comprises entre les mêmes lignes, les mêmes raisonnemens peuvent s'appliquer à tous les aimans quelle que soit leur forme, et que ce n'est que vers leurs pôles, c'est-à-dire vers les points où les compensations en question n'ont plus lieu, que l'action des courans doit être efficace.

Raison pour laquelle l'action d'un aimant semble concentrée vers ses extrémités.

40. L'action d'un aimant sur un point P du courant d'un fil conducteur ou sur un point des courans d'un autre aimant, vient donc des parties des enveloppes telles que FCMN, DQLE, dont l'action n'est compensée par celle d'aucune autre portion de surface, et qui sont situées vers ses extrémités. Les courans qui sont sur les faces CFHG et DEIK font partie de ceux des enveloppes successives, dans lesquelles nous avons conçu l'aimant divisé et on en tient compte ainsi sans avoir besoin de considérer ces faces en particulier.

41. La règle exposée (art. 29), d'après laquelle on jugerait de l'action de l'aimant par celle des courans de la surface la plus voisine du point sur lequel on le fait agir, doit être restreinte au cas où le point est compris entre les plans CFHG et DEIK qui terminent l'aimant, puisque d'après ce que nous avons vu (art. 39), quand le point P est hors de l'espace compris entre ces deux plans, il peut arriver que la nature de l'action exercée sur le point P soit au contraire déterminée par celle de la partie de la surface de l'aimant, qui en est le plus éloignée.

42. Il faut aussi prévenir une difficulté qui pourrait se présenter pour les aimans, qui, n'étant point terminés par des plans perpendiculaires à l'axe, sembleraient ne pas se prêter à la décomposition en enveloppes superposées depuis l'axe jusqu'à la surface. Tel serait, par exemple, le cas d'un aimant de forme très-irrégulière qui présenterait des parties plus grosses contiguës à d'autres plus minces. Sans vouloir résoudre en général la question de l'influence de la forme de l'aimant sur les effets qu'il produit, influence qui ne peut être

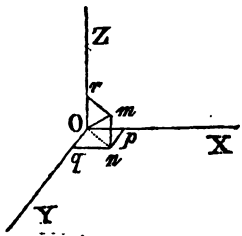
révoquée en doute, nous examinerons seulement le cas d'un aimant terminé en pointe à ses deux extrémités, forme à laquelle se rapporte celle des aiguilles aimantées ordinaires. Il semble d'abord que dans une pareille aiguille, sa surface se continuant jusqu'aux pointes, la surface visible du point P et celle qui ne l'est pas étant séparées par une ligne continue sur laquelle se trouvent les deux extrémités de l'aimant, les actions de ces deux surfaces devraient se détruire complétement. Mais si nous adoptons le même mode de décomposition dont nous avons fait usage pour l'aimant AB, fig. 17, nous verrons que les différentes enveloppes prismatiques qui se recouvrent l'une l'autre sont disposées comme en retraite; que celle qui enveloppe l'aiguille à son milieu agit, sans compensation, par ceux de ses courans qui la terminent vers l'endroit où l'aiguille commence à diminuer de grosseur, et qu'il en est de même pour toutes les autres enveloppes plus intérieures et plus longues jusqu'à l'axe. La résultante de toutes les actions de ces enveloppes d'inégale longueur donnera l'action de l'aimant, et le point de l'axe vers lequel elle sera dirigée sera le pôle de l'aimant.

43. Nous n'insisterons pas davantage sur ces considérations qui, comme nous l'avons dit (art. 38), ne peuvent résoudre que par approximation les questions relatives au sujet qui nous occupe. La solution rigoureuse de ces questions exigerait des calculs trop compliqués pour trouver place ici, calculs qui sont fondés sur l'expression mathématique de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de courans électriques déduite de ce que nous avons dit (art. 16 et 33.)

Composition et décomposition des petites portions de courans électriques.

44. L'action d'une petite portion de courant électrique comprise entre deux points très-rapprochés étant la même (art. 33) quelle que soit la ligne droite, courbe ou brisée, suivant laquelle on dirige le courant entre ces deux points, on peut en tirer pour la composition et la décomposition des petites portions de courans électriques, les mêmes règles que pour la composition et la décomposition des forces dans la statique. Ainsi, fig. 24,

Fig. 24.



l'action d'une portion très-petite O*m* d'un courant pourra être remplacée par l'action de trois autres courans O*p*, O*q*, O*r*, dirigés suivant OX, OY, OZ, parallèles à trois axes rectangulaires donnés, et égaux en longueur à O*p*, O*q*, O*r*, qui sont les trois côtés d'un parallélipipède, dont O*m* est la diagonale. Pour le démontrer, remplaçons le fil droit O*m* par un autre fil en ligne brisée suivant O*pnm*, qui d'après l'expérience fait le même effet. On voit que l'on a substitué au courant O*m* trois autres courans aussi très-petits et égaux en longueur aux côtés du parallélipipède indiqué. A la vérité les trois courans O*p*, *pn*, *nm* ne sont pas tous trois dirigés suivant les parallèles mêmes menés aux trois axes par le point O, mais la distance de *nm* à O*r*, par exemple, est infiniment petite, et sera toujours nulle par rapport à la distance finie des points sur lesquels le courant agit. On aurait pu aussi bien pour la démonstration imaginer ce fil plié suivant O*qnm* pour aller de O en *m*, ou suivant les quatre autres constructions analogues qu'on peut faire dans les plans *p*O*r*, *q*O*r*.

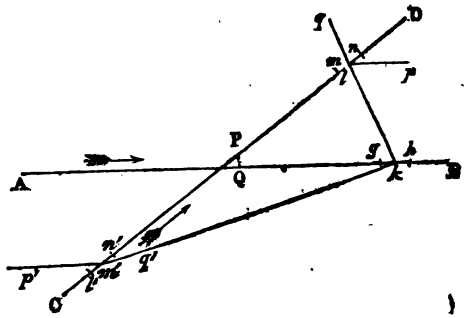
On effectuera d'après le même principe la décomposition d'un nombre quelconque de portions infiniment petites de courans électriques, suivant trois directions déterminées, ce qui donne ensuite le moyen de les composer et d'y appliquer l'analyse, comme on le fait relativement aux forces que l'on considère dans la mécanique.

45. On peut au moyen de ce qui précède rendre aisément raison de ce que nous avons dit (art. 9), savoir que si l'on fait agir un courant fixe sur un conducteur mobile, ce dernier tend à se mettre dans la position

Explication de l'action directrice d'un courant sur un autre courant.

où il est parallèle au premier, et où son courant est dirigé dans le même sens. En effet, soit AB, fig. 25,

Fig. 25.



le conducteur mobile, CD le conducteur fixe, PQ leur perpendiculaire commune ou la ligne qui mesure leur plus courte distance. Nous supposons d'abord que les deux courans AB, CD, soient dans deux plans rectangulaires entre eux, dont PQ serait la commune intersection; en sorte que l'angle des deux droites AB, CD, mesuré par celui de deux autres droites menées par un même point de l'espace parallèlement à chacune d'elles, fût un angle droit. Tous les points de chaque partie d'un des courans agiront sur tous les points de chaque partie de l'autre. Pour avoir l'action des points de la partie PD sur ceux de la partie QB, cherchons d'abord celle d'un point quelconque *m* du courant CD pris sur PD, sur un point *k* du courant AB pris sur QB. En disant que nous cherchons l'action mutuelle des points *m* et *k*, nous entendons l'action mutuelle de deux parties infiniment petites *ln*, *gh*, des courans AB, CD, dont *m* et *k* sont les milieux. Cela posé, il est évident que l'on peut remplacer le courant *ln* par deux autres qui auraient le même milieu *m*, et qui seraient dirigés l'un dans le plan *mk*B, qui contient les lignes *mk* et *gh*, l'autre perpendiculairement à ce plan. L'action de ce dernier sur *gh* sera nulle (art. 17), puisque le plan qui contient *mk* et la direction de ce courant est perpendiculaire au plan qui contient *mk* et la direction *gh*, il ne restera donc que l'action du courant qui est dans le plan *mk*B; remplaçant encore celui-ci par deux

autres dirigés l'un suivant *mp* parallèle à *gh*, l'autre suivant *mq* prolongement de *km*, l'action de ce dernier sur *gh* sera encore nulle (art. 16), à cause que la direction *mq* passe par le point *k* milieu de *gh*, et il ne restera donc que l'action du courant dirigé suivant *mp*, qui étant parallèle à *gh* et dans le même sens, produira une attraction, quoique cette attraction soit moins forte (art. 16) que si les deux courans *gh*, *mp* étaient perpendiculaires à la ligne *mk*, qui joint leurs milieux. On peut en dire autant de l'action de tous les courans infiniment petits, dans lesquels on peut décomposer PD, agissant sur toutes les portions très-petites de QB; en sorte que tous ces effets conspireront à rapprocher le point B du point D, ou à diminuer l'angle des lignes PD, QB, en faisant tourner la ligne AB autour du point Q. La même décomposition ferait voir aussi qu'il résulte des actions mutuelles des points des deux portions AQ, CP, une attraction qui tend à rapprocher le point A du point C, et à faire tourner AB dans le même sens que l'action de PD sur QB. Les actions mutuelles de toutes les parties des lignes PC et QB, ainsi que celles des lignes AQ et PD sont au contraire toutes répulsives et tendent à éloigner le point A du point D et le point B du point C, comme il est facile de le voir en remplaçant la petite portion *l'n'* du courant CP, par deux autres portions de courant dirigées suivant le plan *m'k*B et la perpendiculaire à ce plan, ce qui réduit l'action exercée par *l'n'* à celle d'un petit courant situé dans ce même plan, et qu'on peut remplacer à son tour par deux autres courans dirigés l'un suivant *m'q'*, l'autre suivant *m'p'*, dont le dernier seul agit sur *gh*, et produit une action répulsive, puisque le courant *m'p'* va en sens contraire de *gh*. Les quatre actions mutuelles de PD, PC, QA, QB, conspirent donc toutes à faire tourner dans le même sens la ligne AB comme nous l'avons dit (art. 9.)

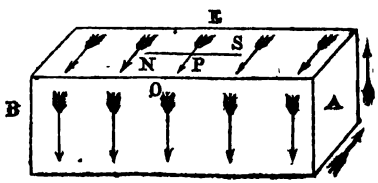
Quand les deux droites AB, CD ne sont pas à angles droits, il y a, entre les quatre parties PD, PC, QA, QB, que nous venons de considérer, deux angles aigus et deux angles obtus : dans les angles aigus, toutes les actions mutuelles des parties infiniment petites des courans tendent encore à faire tourner AB dans le même

sens que précédemment; mais, dans les angles obtus, quoique le plus grand nombre de ces actions s'exerce encore comme dans le cas où les angles sont droits; cependant il y a un certain nombre d'actions mutuelles qui tendent à produire un effet contraire, ainsi qu'on peut le voir par le mode de décomposition dont nous venons de faire usage; mais on reconnaît en même temps que cet effet opposé est très-petit par rapport à la totalité des actions qui tendent à faire tourner AB dans le même sens que quand les lignes AB, CD, sont à angles droits. Ce mouvement sera donc le même quel que soit l'angle des deux conducteurs, ce qu'il est aisé de vérifier par l'expérience en se servant du conducteur mobile représenté fig. 5. Tant qu'on suppose que les deux parties QA, QB, du conducteur mobile sont égales, il n'y a évidemment d'action que pour le faire tourner autour du point Q; mais si elles étaient inégales, ou qu'une seule fût parcourue par le courant électrique, la somme des composantes parallèles à CD ne serait plus nulle, et elles tendraient à transporter la partie QA dans le sens PC, et la partie QB dans le sens PD, parallèlement au conducteur fixe CD. On n'a point encore fait d'expérience sur ce genre d'action que les courans électriques doivent exercer d'après la théorie.

Explication des faits observés par M. Oersted.

46. M. Oersted a observé que si l'on dispose près d'une aiguille aimantée ordinaire, un fil conducteur vertical, dont le courant soit ascendant, et qu'on le mette près d'un point de l'aiguille situé entre un des pôles et le milieu de l'aiguille, ce pôle est jeté constamment à l'ouest quel que soit le pôle et le côté de l'aiguille auquel on présente le conducteur vertical. La raison en est que dans l'aiguille aimantée horizontale et dirigée par le globe, le courant est ascendant à l'ouest et descendant à l'est, comme on peut le voir sur l'aimant AB, fig. 15,

Fig. 15.



par les flèches qui indiquent la direction du courant sur sa surface, et en faisant attention que quand cet aimant est dirigé par le globe, il a son pôle A au nord, son pôle B au sud et par conséquent les courans comme nous venons de le dire. Maintenant, le fil étant à l'ouest de l'aiguille avec son courant ascendant, attire les courans de l'ouest de l'aiguille qui sont aussi ascendans, et fait marcher vers l'ouest le pôle voisin. Si on met le courant de l'autre côté, c'est-à-dire à l'est de l'aiguille où les courans sont descendans, il les repousse parce qu'il est en sens contraire, et le pôle voisin marche encore vers l'ouest. Le même courant étant placé perpendiculairement au méridien magnétique dans une direction horizontale, et mis à la même distance du milieu de l'aiguille que précédemment, produira pour incliner l'aiguille un effet qui sera le même, que le courant soit au-dessus ou au-dessous, comme l'a aussi observé M. Oersted. En effet le courant du fil étant dirigé de l'est à l'ouest par exemple, si on le met au-dessous de l'aiguille, il est voisin des courans de la face inférieure de l'aiguille, qui vont aussi de l'est à l'ouest, il les attire et abaisse ainsi le pôle voisin; le même courant placé au-dessus de l'aiguille repousse les courans de la face supérieure, qui vont de l'ouest à l'est, et abaisse encore le pôle près duquel il se trouve. La disposition et le sens des courans autour de l'aimant étant les mêmes dans toute sa longueur, on voit de suite la raison de cette circonstance très-remarquable que le courant agit de même dans cette expérience sur les deux pôles de l'aiguille.

Si, dans toutes les expériences que nous venons de rapporter, au lieu de placer le fil conducteur vis-à-vis d'une partie de l'aiguille située entre un pôle et le milieu, on le place au delà du pôle par rapport au milieu de l'aiguille, on obtient des effets contraires. Cela vient de ce que le fil est alors situé de manière que son action sur les courans de la face opposée de l'aiguille est plus forte que l'action qu'il exerce sur les courans de la partie voisine de lui (art. 41), en sorte que l'effet qui en résulte, est de même nature que l'action du fil sur les courans de la face opposée de l'aiguille, et par conséquent contraire à l'action qui a lieu entre le courant du fil

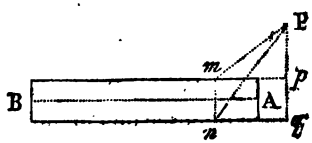
et les courans de la face de l'aiguille qui en est voisine, dans le cas où l'on place le fil vis-à-vis d'une partie de l'aiguille, comprise entre le pôle et le milieu. Au reste cet effet va être examiné avec détail dans l'article suivant.

Attraction et répulsion d'un aimant par un fil conducteur.

47. Ayant suspendu à un fil délié le petit barreau aimanté ON fig. 18, que l'on peut faire d'une aiguille à coudre ordinaire, on fait passer auprès le courant électrique LK. Si, du côté de l'aimant qui est voisin du fil conducteur les courans vont dans le même sens que celui de ce fil, l'aimant est attiré tout entier vers lui et le barreau après être arrivé au contact avec le fil y demeure attaché. En mettant le fil conducteur de l'autre côté de l'aimant où les courans vont en sens contraire, il le repousse : ces effets ont également lieu pour les différentes hauteurs où l'on place le courant LK, soit qu'on le mette vis-à-vis du milieu de l'aimant, ou dans l'intervalle de ce milieu à l'un ou à l'autre de ses pôles, mais seulement tant qu'on n'élève pas LK au-dessus du point M ou qu'on ne l'abaisse pas au-dessous du point N. Car si on l'abaisse, par exemple, de plus en plus en le conservant dans le même plan vertical, l'action qu'il exerçait, quand il était vis-à-vis du milieu de l'aimant, s'affaiblit de plus en plus jusqu'à une certaine limite où elle devient nulle. Passé ce terme si on continue d'abaisser le courant, son action devient contraire à celle qu'il exerçait d'abord, et ne change plus ensuite de nature à quelque distance de l'aimant que l'on abaisse LK.

48. Pour rendre raison de ces faits, soit AB, fig. 26,

Fig. 26.



un aimant en prisme rectangulaire que la figure représente horizontal, quoiqu'il soit vertical dans l'expérience due à M. Ampère, dont nous venons de parler, en sorte que *mn* est son épaisseur ; soit P la projection sur le plan

vertical qui passe par l'axe de l'aimant, d'un courant électrique supposé indéfini et perpendiculaire à ce plan; en nous bornant à dire des courans qui sont à la surface de l'aimant, ce qu'il sera facile d'étendre aux courans intérieurs, nous remarquerons d'abord que le fil conducteur exerce des actions contraires sur les courans des deux faces dont les plans sont perpendiculaires à sa direction, puisque dans la face qui se trouverait à l'ouest si l'aimant était dirigé par le globe, les courans sont ascendans et qu'ils sont descendans dans la face opposée; ces deux faces d'ailleurs ont chacun de leurs points correspondans à la même distance du fil conducteur, les actions exercées par celui-ci sur ces deux faces, sont donc exactement égales et contraires, et il n'en résulte aucune force qui tende à transporter l'aimant. Il ne reste donc plus qu'à considérer l'action exercée par le courant sur les deux faces de l'aimant qui lui sont parallèles.

Soient m et n les projections de deux portions infiniment petites des courans électriques de la face la plus voisine du conducteur et de la face opposée, situées dans un même plan horizontal quand l'aimant est vertical. La direction du courant sera contraire en ces deux points en sorte que si le courant en m parallèle au courant projeté en P va dans le même sens que celui-ci et en est attiré, le courant en n, qui est aussi parallèle au courant P, mais dirigé en sens contraire, en sera repoussé. Il est facile de voir que le courant P, agissant de plus près sur le point m l'attirera davantage suivant mP qu'il ne repousse le point n suivant Pn. L'action du conducteur sur chaque courant infiniment petit tel que m ou n est en raison inverse de la simple distance de ce petit courant au fil, comme nous le verrons bientôt. Si le courant P est dans la direction nm prolongée, l'ensemble de ces deux petits courans tend à se porter vers lui avec une force qui est la différence entre les deux actions qu'il exerce sur m et sur n, l'action sur m étant prépondérante à cause de sa plus petite distance au courant P. Si, comme le représente la figure, le courant P n'est point directement au-dessus de mn, il faudra décomposer les deux forces mP et Pn suivant la direction mn perpendiculaire à l'axe de l'aimant, et prendre la

différence de leurs composantes dans cette direction, pour avoir la force avec laquelle l'ensemble des actions exercées sur les deux points *m* et *n*, tend à rapprocher l'aimant du conducteur. Tant que les angles des forces *m*P, P*n* avec *mn* seront tous deux fort petits, la force attractive *m*P décomposée suivant *mn* conservera sur la force répulsive P*n* décomposée suivant la même direction, l'avantage qui résulte de la plus grande proximité des points P et *m*, mais comme l'angle de P*m* avec le prolongement de *nm* est plus grand que l'angle P*nm*, la force *m*P perdra plus que P*n* à être décomposée suivant *mn*. Avec des angles plus grands, cette force *m*P perdra toujours proportionnellement davantage que P*n*, en sorte que pour une certaine position du courant P les deux actions seront égales et contraires et se détruiront mutuellement. Passé cette limite ce sera la force P*n* qui l'emportera, et l'action du courant P sur l'ensemble des deux points *m* et *n* deviendra répulsive. Pour faire voir clairement sans l'aide du calcul comment l'attraction doit nécessairement se changer en répulsion, imaginons le courant P amené fort près du point *p* situé sur le prolongement de la face de l'aimant qui en est la plus voisine, la force *m*P dirigée presque suivant *mp* ne donnera suivant *nm* qu'une composante extrêmement petite, tandis que la force P*n* décomposée suivant *nm* avec laquelle elle fait un angle bien plus petit *mnp*, sera beaucoup plus grande.

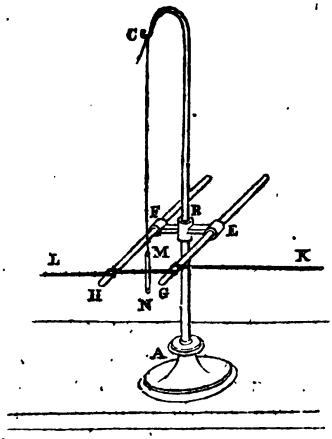
Ce qui vient d'être dit pour les deux courans infiniment petits *m* et *n*, situés en deux points opposés des faces de l'aimant parallèles au courant P, peut être dit de tout autre ensemble de deux points choisis de la même manière, et la résultante de l'action du courant P sur tous ces petits courans pris deux à deux donnera l'action du conducteur sur l'aimant, qui sera par conséquent répulsive dans ce dernier cas, tandis qu'elle était attractive dans le premier.

Il n'est pas nécessaire de supposer à l'aimant AB la forme d'un prisme rectangulaire, pour que l'on puisse y appliquer les mêmes considérations. Seulement, s'il n'a pas cette forme, on remplacera par la pensée toutes les portions infiniment petites des courans qui entourent

son axe, par deux autres petits courans, l'un dirigé parallèlement au courant P et l'autre perpendiculaire à sa direction. On dira de l'ensemble de tous les petits courans qui sont dans ce dernier cas d'un côté et de l'autre de l'aimant, ce que nous avons dit tout à l'heure des courans des faces perpendiculaires à la direction du fil; l'effet produit sur eux sera nul pour mouvoir l'aimant. Quant aux petits courans parallèles à cette direction, on les considérera deux à deux, comme nous venons de faire pour les petits courans *m* et *n*, et on en tirera les mêmes conclusions.

49. Avec ces données, il nous sera facile d'expliquer les effets du conducteur LK, fig. 18,

Fig. 18.



sur le petit barreau aimanté MN. Lorsque le courant est, par exemple, à la hauteur du milieu de l'aimant et dans le même sens que les courans de la partie de l'aimant dont il est voisin, son action, d'après ce que nous venons de voir, est attractive sur la tranche qui est à la même hauteur que lui. On peut en dire autant pour les autres tranches horizontales, prises jusqu'à une certaine distance au-dessus et au-dessous de LK. A la vérité, ce courant exercera des actions contraires sur les tranches de l'ai-

mant plus éloignées; mais ces actions seront bien plus faibles; 1° parce que le courant agira de plus loin; 2° parce que les lignes, suivant lesquelles agiront ces actions, feront de plus petits angles avec l'axe de l'aimant, et donneront par conséquent des composantes plus petites quand on les décomposera suivant une direction perpendiculaire à cet axe. L'attraction qui a lieu sur les tranches les plus voisines du conducteur sera donc prépondérante, et comme les courans ont la même disposition autour de l'aimant MN à toutes les hauteurs, le même effet se produira toujours tant que le fil LK ne sortira point des limites M et N, quelle que soit la hauteur à laquelle on le place.

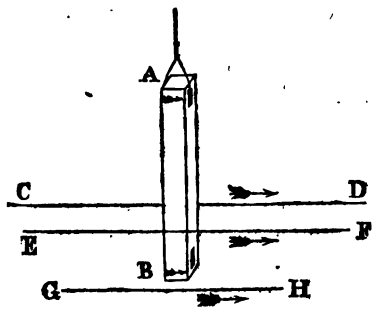
Le courant LK restant toujours dans le même plan vertical, si on l'abaisse au-dessous de N, le nombre des tranches voisines de lui sur lesquelles il exerce une action attractive, aura tellement diminué, tandis que le nombre des tranches sur lesquelles il exerce une action répulsive, aura été en augmentant, que bientôt l'attraction qu'il exerçait sur l'aimant, quand il était vis-à-vis de son milieu, après s'être affaiblie de plus en plus, et être devenue nulle pour un certain abaissement du conducteur LK, se changera en répulsion lorsqu'en continuant d'abaisser ce conducteur, les actions répulsives l'emporteront, et alors l'aimant, au lieu d'être attiré par le courant, en sera repoussé, comme l'indique l'expérience. Pour s'assurer que l'attraction se change toujours en répulsion dans ce cas, pourvu que l'abaissement du courant soit suffisant, considérons le cas très-simple où l'on aurait assez abaissé le fil conducteur pour que l'action qu'il exerce sur la tranche inférieure de MN, fût répulsive. Cette tranche étant la plus voisine de lui, son action sur toutes les autres encore plus éloignées sera à plus forte raison répulsive, et l'aimant sera repoussé. L'attraction se change de même en répulsion, quand on élève LK au-dessus de M; et les deux pôles agissent ici, et doivent, d'après la théorie, agir exactement de la même manière.

Il n'est pas besoin de dire que si le fil, étant vis-à-vis du milieu de l'aimant, avait produit une répulsion, il aurait au contraire produit une attraction, quand on

l'aurait élevé ou abaissé, comme nous venons de le faire.

Examinons maintenant ce qui arrive dans le cas représenté fig. 19,

Fig. 19.



où le conducteur GH est directement sous l'aimant suspendu AB, représenté en MN dans la fig. 18. Il produit alors un effet contraire à celui qu'il produisait, soit lorsqu'il était en EF, en avant de l'aimant, soit lorsqu'il était en arrière, en CD. En effet abstraction faite des forces qui agissent sur les faces de l'aimant perpendiculaires à la direction du courant, et qui se détruisent mutuellement comme on vient de le voir, EF attire l'aimant, et l'amène en avant. Le courant étant mis en CD près des courans de la face postérieure, qui sont en sens opposés, repousse l'aimant et l'amène encore en avant. Au contraire, quand on met le courant en GH, sous l'aimant, il attire vers lui les courans de la face antérieure de l'aimant, et tend à le porter en arrière, tandis qu'il repousse les courans de la face postérieure, et tend encore ainsi à le porter du même côté, par un mouvement contraire à celui qu'il tendait à lui donner quand il était dirigé suivant CD, ou suivant EF; le tout conformément à l'expérience.

Action attractive et répulsive d'un aimant sur un conducteur mobile.

5o. D'après la loi générale de la réciprocité d'action, on peut faire les mêmes expériences avec un aimant que l'on présente à un conducteur mobile; comme, par exemple, à l'une des branches verticales du conducteur mobile, fig. 4. Cette branche, ayant son courant descendant, comme le représente la figure, est attirée par le côté d'un aimant, où le courant est descendant; repous-

sée par la face opposée, où le courant est ascendant; et, comme dans l'expérience précédente, quand le fil conducteur se trouve hors de l'intervalle des plans, menés par les deux extrémités de l'aimant, perpendiculairement à son axe, l'effet devient contraire à celui qui avait lieu quand ce fil se trouvait dans l'intervalle compris entre les mêmes plans.

Expérience de M. Erman.

51. Avec le même conducteur mobile, fig. 4, on peut répéter une expérience curieuse de M. Erman, qui consiste à présenter à un fil conducteur mobile un aimant en fer-à-cheval, de manière que ce fil soit entre les deux pôles. Alors on remarque que ces deux pôles agissent tous les deux de la même manière sur ce fil. S'ils l'attirent tous deux, le fil se porte vers le pôle dont il se trouve le plus près; et s'ils le repoussent tous deux, le fil prend une position d'équilibre stable, et s'arrête, après quelques oscillations, au milieu de l'espace qui les sépare; exactement comme dans l'expérience de l'art. 12, où le fil mobile est entre deux autres conducteurs, qui le repoussent avec la même force.

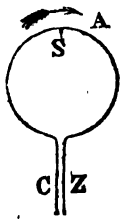
Il suffit, pour se rendre raison de cette expérience, de remarquer que tous les courans qui sont sur un même côté d'un aimant, supposé d'abord rectiligne, ayant tous la même direction, si on conçoit qu'on plie ensuite l'aimant de manière à rapprocher ses pôles, les courans intérieurs à la courbe suivant laquelle on a plié le barreau aimanté ont encore la même direction, ce qui doit produire, pour les deux pôles, la même manière d'agir. Pour fixer les idées, supposons que le plan de la courbe qui forme l'axe de l'aimant soit horizontal, et que le courant soit ascendant dans le côté de l'aimant qui en forme la partie intérieure; si l'on place ensuite un fil mobile, dont le courant vertical soit aussi ascendant, il sera attiré par les deux pôles, et se portera vers celui dont il se trouve le plus près; si le courant du fil mobile, au contraire, est descendant, il sera repoussé également des deux côtés par les courans ascendans de l'aimant, et il se fixera entre les deux pôles, au milieu de l'intervalle qui les sépare.

52. L'expérience de M. Erman est encore remarquable par l'appareil qu'il y emploie : c'est une pile à un seul

élément, assez légère pour être suspendue à un long fil, qui lui laisse une mobilité suffisante, comme les fils dont on fait usage dans la balance de torsion. Cet élément est formé d'une coupe en cuivre contenant un acide affaibli, dans lequel plonge un morceau de zinc qui, par un fil métallique, différant de celui qui sert de support à l'appareil, va rejoindre la coupe de cuivre. Il est évident, dans cette pile à un couple, que le zinc enlève l'électricité positive au cuivre, auquel il communique par le fil métallique, et que cette électricité revient au cuivre par le liquide conducteur. L'électricité négative suit la route opposée; et, d'après ce que nous avons établi pour indiquer le sens du transport des deux électricités, le courant va du cuivre au zinc, dans toute la partie du circuit que n'occupe pas le liquide. Il est évident que la terre agit pour diriger un pareil circuit mobile ; et quoique M. Erman n'ait point observé que l'action du globe donnât une direction déterminée à cet appareil, tout-à-fait semblable à celui de la fig. 6, qui se dirige très-facilement, même avec une pile d'une force médiocre, on ne peut douter que, si le fil de suspension eût été encore plus susceptible de céder à la torsion, et surtout si le courant eût été plus énergique, la direction par le globe aurait eu lieu.

53. M. Babinet avait réalisé la même idée dès les premiers temps que M. Ampère s'occupait des phénomènes électro-magnétiques. Un fil de cuivre CA, fig. 27,

Fig. 27.



est soudé en A à un fil de zinc AZ; le fil entier ZAC est porté sur une pointe ou pivot S; et pour mettre le courant en activité, on plonge les deux extrémités Z et C dans un verre rempli d'eau acide. Cet appareil ne s'est

point dirigé d'abord par l'action de la terre, non plus que celui de M. Erman; mais en prenant pour fil de suspension un simple fil de cocon de ver à soie un peu long, M. Babinet a obtenu depuis la direction de ce même appareil par le globe.[1] Quand le bout du fil de zinc, qui plonge dans l'acide, a été dissous, il suffit d'en remettre un autre à sa place, en l'attachant à ce qui reste du même fil.

Expérience de M. Boisgiraud.

54. On est tellement habitué à voir les deux pôles d'un aimant exercer des effets contraires, que tous les phénomènes qui, conformément à la théorie que nous avons développée, nous montrent les deux pôles agissant de la même manière, méritent une attention particulière. Tels sont les faits que M. Boisgiraud (*Annales de chimie et de physique, t.* 15, *p.* 279), a observés, en faisant agir le courant électrique sur une petite aiguille aimantée, flottant sur l'eau au moyen d'un peu de cire ou de matière grasse dont elle était enduite. L'aiguille étant dirigée par le globe, suivant le méridien magnétique, on place un fil conducteur perpendiculairement à ce méridien et à l'aiguille. Soit AB, fig. 26, l'aiguille flottante, P la projection du courant, que l'on fait agir sur l'aiguille, considérons, comme nous l'avons fait (art. 48), son action sur les deux points m et n, situés dans la même verticale : on voit que l'action attractive du courant P, que nous supposons dirigé de l'ouest à l'est, pour fixer les idées, sera plus forte sur le point m, que son action répulsive sur le point n. Pour avoir la force avec laquelle l'ensemble des deux petites portions de courant m et n tendra à marcher vers le conducteur, il faut décomposer les forces mP, Pn, parallèlement à la direction de l'axe AB, suivant mp, qn, puisqu'en vertu de sa pesanteur et de la direction que lui donne le globe, l'aiguille ne peut se mouvoir que dans cette direction. Cette décomposition étant faite, on doit prendre la différence des actions exercées suivant mp et qn. Or, on voit que, pour toutes les positions du courant P, l'action suivant mp est toujours plus grande que l'action contraire qu'il

[1] M. de la Rive a obtenu le même effet par un moyen semblable, comme nous le dirons lorsqu'il sera question de ses expériences.

exerce suivant *qn* : cela tient à ce que l'angle P*mp* est plus petit que l'angle P*nq*; en sorte que la force *m*P, déjà plus grande que la force P*n*, l'emportera encore plus sur cette dernière, quand elle aura été décomposée suivant une direction *mp*, moins éloignée de *m*P que *nq* ne l'est de *n*P. Ainsi l'action du courant sur la face supérieure de l'aiguille, sera toujours plus forte que l'action contraire qu'il exerce sur la surface inférieure, et il y aura toujours attraction quand le courant du conducteur ira, comme nous le supposons ici, de l'ouest à l'est : il y aurait pour la même raison répulsion s'il allait de l'est à l'ouest.

Cette circonstance met une grande différence entre cette expérience et celle de l'art. 47, où les actions du courant étaient décomposées suivant des perpendiculaires à l'axe. En effet, ici les résultantes des actions du courant P sur toutes les tranches de l'aimant perpendiculaires à l'axe étant toujours dirigées dans le même sens, ce courant allant de l'ouest à l'est, l'attirera dans toutes les positions. De plus il y aura équilibre stable quand le milieu de l'aiguille sera verticalement au-dessous du conducteur; car dans tout autre cas, le point qui est au-dessous du conducteur ne partageant pas le petit aimant flottant en deux parties égales, la partie la plus longue sera la plus attirée vers le fil, et le milieu de l'aiguille sera ramené sous le conducteur. Le contraire a lieu quand le courant P va de l'est à l'ouest : alors il y a répulsion sur toutes les tranches, et pour peu que le milieu de l'aiguille s'écarte de dessous le fil la partie la plus longue est la plus repoussée, et l'aimant marche en s'éloignant indéfiniment du fil conducteur, ainsi que l'a observé M. Boisgiraud.

55. Lorsque l'on dispose dans un récipient où l'air est raréfié, deux pointes de charbon qui communiquent par des fils métalliques aux deux extrémités de la pile, si celle-ci est suffisamment énergique, on obtient entre les deux pointes un courant continu d'électricité qui subsiste ensuite, lors même que l'on écarte les pointes à plusieurs centimètres de distance. Il se développe en même temps une chaleur et une lumière extrêmement intenses. Le circuit n'étant point alors interrompu, Expérience de sir Humphrey Davy.

M. Arago pensa que l'espèce de flamme électrique, qui se montre alors, devait agir sur l'aiguille aimantée, et réciproquement être attirée ou repoussée par les pôles des aimans. Or, c'est cet effet que, d'après le témoignage de M. le docteur Ure, sir H. Davy vient d'obtenir : il a placé les extrémités des pointes de charbon l'une au-dessus de l'autre, de manière à donner au courant une direction verticale. Ensuite, en rapprochant un aimant dont l'axe était horizontal, il a vu que la flamme était attirée, et se courbait en arc vers l'aimant quand les courans de celui-ci, près de la flamme, avaient la même direction que le courant qui la produisait. Ce courant étant supposé ascendant, et l'aimant dirigé par le globe, cet effet doit avoir lieu quand la flamme est à l'ouest; dans le cas contraire, la flamme doit être repoussée, et former un arc dont la concavité soit du côté de l'aimant.

Expériences de MM. Biot et Savart.

56. M. Biot, conjointement avec M. Savart, a étudié l'action d'un fil conducteur sur une aiguille aimantée, par des expériences très-précises qui vont nous fournir la preuve de ce que nous avons avancé plus haut, que l'action mutuelle de deux petites portions de courans électriques, est en raison inverse du carré de leur distance. Pour mettre l'aiguille aimantée hors de l'influence magnétique du globe, il place à une assez grande distance un aimant dont l'action balance celle du globe, par une disposition analogue à celle que M. Haüy emploie pour reconnaître dans les minéraux les plus faibles traces de magnétisme. L'aimant étant convenablement placé, l'aiguille reste indifférente, ou à peu près, dans toutes les positions qu'on lui donne. Cette aiguille étant ensuite soumise à l'action d'un fil conducteur, on compte le nombre des oscillations qu'elle fait dans un temps donné pour une position déterminée du fil, et le carré de ce nombre est, comme on sait, proportionnel à la force qui fait alors osciller l'aiguille. Celle-ci étant suspendue par des fils de soie non tordus, la torsion n'influe en rien sur sa direction, et en comptant le temps avec un chronomètre à double arrêt de M. Breguet, M. Biot a pu atteindre, pour ainsi dire, la dernière limite de l'exactitude.

57. Si l'on tend un fil conducteur vertical d'une longueur suffisante pour que son action soit sensible-

ment la même que si cette longueur était infinie, auprès d'une l'aiguille ainsi suspendue; elle se dirige, conformément à la théorie que nous exposons, transversalement au fil, en sorte que sa direction est perpendiculaire au plan vertical, passant par le conducteur et le milieu de l'aiguille. Si on l'écarte ensuite de cette position de repos, elle oscille de part et d'autre avec une force qui, déterminée par le carré du nombre d'oscillations faites dans un temps donné, s'est trouvée inversement proportionnelle à la distance du fil à l'aiguille. Ainsi, par exemple, à une distance double de l'axe du fil conducteur au milieu de l'aiguille, le carré du nombre d'oscillations que celle-ci fait sous l'influence du fil, est la moitié de celui qu'elle fait à une distance simple. Remarquons qu'ici tous les points du courant agissent à la fois sur l'aiguille. Pour avoir l'action d'une des parties du courant considérée isolément, il faut chercher suivant quelle loi les élémens du fil conducteur doivent agir pour que l'effet produit par leur réunion soit en raison inverse de la simple distance. M. de La Place a cherché cette loi par le calcul, et il a trouvé que si toutes les parties d'un fil rectiligne indéfini agissent en raison inverse du carré de leur distance à un point, leur action totale sera en raison inverse de la simple distance de ce point au fil conducteur. Cette belle expérience nous fournit donc la démonstration de l'hypothèse adoptée par M. Ampère dès le commencement de ses recherches, que chaque partie très-petite d'un courant agit sur une autre partie aussi très-petite en raison inverse du carré de la distance qui les sépare.

M. Biot a aussi comparé l'action d'un fil droit sur une aiguille aimantée avec l'action d'un fil conducteur plié de manière à former un angle dont le sommet est placé aussi près de l'aiguille que l'était d'abord la partie la plus voisine du fil vertical. En analysant par le calcul les résultats de l'expérience, il a retrouvé la loi que M. Ampère avait annoncée, d'après l'action d'un fil sinueux sur un conducteur mobile, savoir que l'action d'une petite portion du fil est, toutes choses égales d'ailleurs, proportionnelle au sinus de l'angle que forme la direction de cette petite portion avec la ligne qui joint son

milieu et le point sur lequel elle agit. De plus, comme pour le fil droit, l'action est en raison inverse de la distance de l'aiguille au sommet de l'angle, ce qui résulte aussi de ce que l'action de chaque petite portion du fil est en raison inverse du carré de la distance.

58. M. Oersted avait observé que le courant transmis par des corps d'un volume plus grand que les fils agissait comme quand il était conduit par les fils eux-mêmes. M. Biot a remarqué de plus que si l'on met, au lieu d'un fil simple, un fil double ou triple ou un tuyau métallique plus gros qu'un fil simple, pour conduire le courant d'une même pile, l'action de ce courant augmente avec le nombre des fils, ou en général avec la grosseur du conducteur, jusqu'à une certaine limite, passé laquelle on n'obtient pas un plus grand effet en multipliant le nombre des fils; car dès que le conducteur est suffisamment gros pour transmettre facilement tout le courant que peut produire la pile, le transport des deux électricités se fait tout aussi bien par ce conducteur que par un autre dont le volume serait plus considérable.

Imitation des effets de l'aimant par des fils conducteurs.

59. Les auteurs du travail dont nous citons les résultats, ont aussi observé que quand on fait agir sur une aiguille maintenue dans un plan horizontal, un fil conducteur situé dans le même plan et perpendiculaire à l'axe de l'aiguille, ce fil n'exerce aucune action directrice sur elle, ce qu'on reconnaît à ce que cette aiguille n'oscille plus vers ce fil quand l'action du globe est balancée par celle d'un aimant comme nous l'avons vu plus haut, ou bien, en laissant l'aiguille soumise comme à l'ordinaire à l'action du globe, à ce que le nombre des oscillations qu'elle fait n'est ni augmenté ni diminué par l'action du fil. Mais si l'on élève ou si l'on abaisse le fil conducteur, il se produit une attraction ou une répulsion suivant la direction du courant. Quand on se sert de l'aiguille soustraite à l'action du globe, l'attraction se manifeste par les oscillations qu'elle fait alors, et la répulsion par une demi-révolution de cette aiguille qui en amène l'autre extrémité du côté du conducteur; quand l'aiguille n'est pas soustraite à l'action du globe, la diminution ou l'augmentation du carré du nombre des oscillations en temps égaux, indique l'énergie de la ré-

pulsion ou de l'attraction que le fil conducteur exerce.

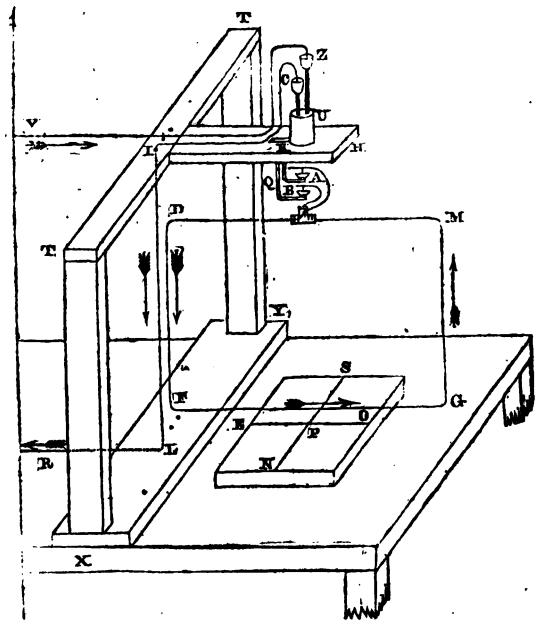
Ces faits sont une suite de la théorie que nous exposons. Le fil conducteur étant d'abord dans un plan horizontal à la même hauteur que l'aiguille, les courans contraires, qui ont lieu au-dessus et au-dessous de l'axe de l'aimant, sont situés symétriquement et à des distances égales du fil; leurs actions contraires se détruisent donc mutuellement, et le fil n'exerce dans le plan horizontal aucune action directrice sur l'aiguille. Il tend seulement à l'incliner, et l'incline en effet, quand elle est libre de se mouvoir dans un plan vertical; car il est évident que le courant du fil placé à la hauteur de l'axe étant, par exemple, dans le même sens que les courans inférieurs du pôle qui en est voisin, il attire vers le haut ces courans inférieurs, repousse aussi vers le haut les courans supérieurs qui lui sont contraires, et ce pôle doit s'élever en vertu de cette double action. La force directrice horizontale qui se manifeste ensuite, quand on élève le fil au-dessus de l'aiguille, dépend de l'inégalité des actions opposées qu'exerce le fil conducteur sur les courans de l'aimant qui sont au-dessus et au-dessous de l'axe de cette aiguille, et dirigés en sens contraires.

Pour obtenir cette force directrice, on décompose, comme on l'a fait (art. 54), l'action du courant en deux forces, l'une verticale qui ne produit aucun effet sur l'aiguille maintenue dans un plan horizontal, et l'autre située dans ce dernier plan, qui agit seule pour faire osciller l'aiguille. Or, nous avons vu, dans l'art. cité, que la composante horizontale est toujours de même nature que l'action exercée par le conducteur sur les courans de la partie supérieure de l'aiguille dont il est le plus voisin; la nature de cette composante ne change donc point avec les différentes positions qu'on peut donner au conducteur au-dessus de l'aiguille. Quant à la force verticale qui tend à incliner l'aiguille, elle changerait au contraire avec la position du fil, et serait tantôt attractive, tantôt répulsive, suivant que le courant du fil, toujours au-dessus de l'aiguille, serait placé dans l'intervalle que comprennent deux plans menés par les pôles de l'aimant perpendiculairement à son axe, ou serait hors de cet intervalle, comme nous l'avons vu (art. 49).

Conducteurs pliés en spirales.

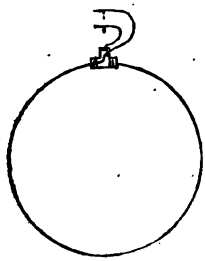
60. La disposition des courans de l'aimant en courbes fermées dans des plans perpendiculaires à l'axe comme les représentent les fig. 15 et 16, est analogue à la disposition du courant dans le fil conducteur circulaire de la fig. 6, ou dans le fil rectangulaire mobile DFGM de la fig. 3.

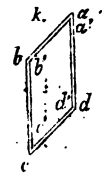
Fig. 3.

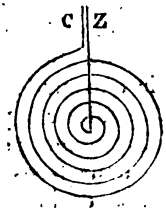


L'analogie serait complète si, dans ce dernier cas, le circuit du fil était fermé comme il l'est dans la pile mobile à un élément, de M. Erman. Aussi nous avons vu que le globe dirige ces conducteurs, fig. 3 et 6, et dispose leur plan perpendiculairement au méridien magnétique comme un plan qui serait perpendiculaire à l'axe de l'aiguille aimantée ordinaire. Un tel conducteur doit donc être assimilé à l'un des courans *abcd*, *a'b'c'd'* de la tranche de l'aimant représentée fig. 16. M. Ampère a d'abord imité la disposition des courans d'un aimant en repliant plusieurs fois le fil autour du même centre de manière à en former une spirale, fig. 28.

Fig. 6. Fig. 16. Fig. 28.



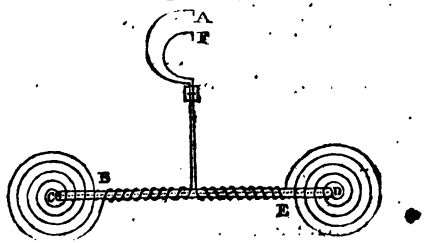




Cette spirale suspendue convenablement est dirigée par le globe et inclinée comme l'équateur d'une aiguille aimantée, par une action semblable à celle qui dirige et incline les fils simples des conducteurs, fig. 6 et 12. Mais l'effet le plus remarquable de cette disposition du fil, consiste dans l'action très-énergique de l'aimant sur ces spirales dont les fils redoublés sont analogues aux courans qui ont lieu dans une même tranche de l'aimant.

Pour observer ces effets à l'abri de l'influence du globe, il faut suspendre le conducteur, fig. 29,

Fig. 29.



aux coupes de l'appareil de la fig. 3, d'après la méthode dont nous avons jusqu'ici fait usage. Les deux spirales dont ce conducteur ABCDEF est composé sont disposées de manière que l'action du globe tende à les faire tourner en sens contraire et ne puisse par conséquent leur imprimer aucun mouvement. On présente le bout de l'aimant vis-à-vis du centre de l'une des spirales; si dans cette spirale le courant tourne autour du centre dans le même sens que les courans de l'aimant autour de son axe

il y a attraction, et répulsion dans le cas contraire. D'après les principes ci-dessus posés sur la direction des courans dans l'aimant, et en faisant attention à la manière dont les communications sont établies pour produire un courant électrique dans la spirale, on peut prévoir d'avance l'effet qui doit avoir lieu, et cette action se manifeste à plusieurs décimètres de distance.

Un même bout de l'aimant présenté successivement aux deux faces d'une spirale l'attire d'un côté et la repousse de l'autre. En effet, si dans le premier cas les courans de l'aimant et de la spirale tournent dans le même sens et s'attirent, dans le second, quand on aura placé le même bout de l'aimant de l'autre côté de la spirale, ils se trouveront en sens contraire, et il y aura répulsion.

Réciproquement une spirale fixe attire ou repousse un aimant mobile quand on présente son centre vis-à-vis du bout de l'aimant; et en faisant agir sur une spirale mobile une autre spirale fixe, la spirale mobile est attirée ou repoussée suivant que leurs courans sont dans le même sens ou en sens contraire.

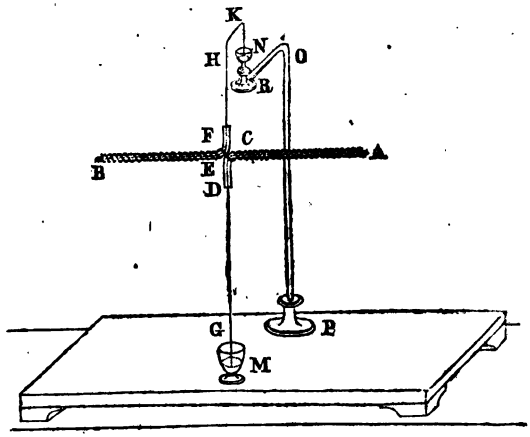
Conducteurs pliés en hélices.

61. Le même physicien a encore plus complétement imité les courans de l'aimant par ceux des différentes spires d'un fil que l'on plie autour d'un tube de verre, par exemple, de manière à en former une hélice à pas très-peu élevés. La surface du tube se trouve alors recouverte d'un grand nombre de courans dirigés dans des spires peu différentes de circonférences dont les plans seraient perpendiculaires à l'axe du tube. On peut (art. 44) décomposer le courant de l'hélice, et considérer qu'en même temps qu'il tourne autour du tube dans un sens perpendiculaire à l'axe, il s'avance d'un bout à l'autre parallèlement à cet axe. Pour isoler l'effet qu'il produit en tournant autour du tube, de celui qui résulte de son mouvement suivant des parallèles à cet axe, il faut neutraliser ce dernier effet en faisant revenir par l'axe le même courant en ligne droite. Alors il ne reste plus que l'effet des courans circulaires, et l'analogie d'un appareil de ce genre avec un aimant se soutient dans les plus petits détails; le bout de l'hélice, qui est à droite des courans circulaires pour un observateur placé dans ces courans et regardant

hors de l'hélice, agit sur l'aiguille aimantée et sur les fils conducteurs comme nous avons vu que le fait le pôle austral de l'aimant, qui est placé de la même manière par rapport aux courans de l'aimant.

62. Un appareil construit d'après ces principes est représenté fig. 23.

Fig. 23.



La double hélice AB est portée par un pivot NK qui lui laisse la liberté de tourner comme une aiguille aimantée ordinaire. Le courant arrive par la coupe N qui sert de support à l'hélice. De là, en suivant le fil NKHF, il entre dans le tube FEB d'où il sort en B, pour parcourir l'hélice qui entoure le tube BE, et l'hélice qui entoure le tube CA, toutes deux pliées dans le même sens. Arrivé en A le fil rentre dans le tube AC, et sort par l'extrémité D pour aller plonger dans une coupe M, que l'on fait communiquer avec le pôle négatif de la pile quand la coupe N communique avec le pôle positif.

Dans les hélices BE, CA, le mouvement du courant suivant l'axe, étant compensé par les mouvemens opposés du même courant dans les fils intérieurs EB, AC, il ne reste que l'effet circulaire transversal des courans. Pour un observateur situé dans ces courans, et regardant hors de l'hélice, l'extrémité A serait à droite ; c'est aussi cette

extrémité qui offre tous les phénomènes connus du pôle austral des aimans. Les pôles A et B de cette aiguille sont attirés et repoussés par les aimans, comme les pôles d'une aiguille ordinaire : ils font le même effet sur les fils conducteurs; et si cette aiguille elle-même ne se dirige pas par l'action du globe, il faut l'attribuer au petit diamètre des spires des hélices, et au défaut d'une suspension assez mobile. En la construisant sur de plus grandes dimensions, on obtiendrait indubitablement cet effet, puisqu'on l'obtient, comme nous l'avons vu, avec un cercle mobile, fig. 6, de trois décimètres de diamètre, et avec des spirales plus petites encore.

On peut substituer au mode de suspension que représente la fig. 23, celui que nous avons employé pour tous les conducteurs mobiles; il suffit pour cela de faire poser la pointe N dans la coupe supérieure A de l'appareil, fig. 3, et de faire revenir l'autre extrémité G, fig. 23, dans le mercure de la coupe inférieure R du même appareil, sans que cette extrémité en touche le fond, comme la fig. 29 le représente pour la double spirale : l'un et l'autre appareil ont été employés avec le même succès.

63. Pour mieux concevoir la manière d'agir du conducteur, plié en hélice autour d'un tube, il faut considérer, conformément à ce qui a été dit (art. 44), que l'on peut remplacer le courant d'une portion très-petite d'une spire de l'hélice, par deux autres petits courans à angles droits; l'un dirigé parallèlement à l'axe de l'hélice, et égal en longueur à la quantité dont le petit arc d'hélice s'élève, suivant cet axe, depuis son origine jusqu'à son extrémité; et l'autre, dirigé dans un plan perpendiculaire à celui-ci, et suivant la circonférence du cercle déterminé par un plan perpendiculaire à l'axe du cylindre, sur lequel l'hélice est pliée, ce second courant ayant pour longueur la projection de l'arc de l'hélice sur la circonférence en question. En réunissant ensuite les actions semblables, exercées par toutes les petites portions d'une spire entière, on voit que l'ensemble des actions exercées par les petits courans parallèles à l'axe, équivaut à un courant égal en longueur au pas de l'hélice, et parallèle à son axe, tandis que l'ensemble de toutes les actions des petits courans transversaux se réduit à celle

d'un courant circulaire égal en longueur à la circonférence de la section du cylindre, par un plan perpendiculaire à son axe; d'où il suit que l'effet produit par la réunion de toutes les spires se compose de ceux que produiraient, 1° un courant suivant l'axe de l'hélice, et de la même longueur que cet axe; 2° autant de courans dans des circonférences de cercles perpendiculaires à l'axe, qu'il y a de spires dans l'hélice.

Pour observer l'effet du premier de ces courans, on fait agir l'hélice sur une branche rectiligne d'un conducteur mobile, qui soit parallèle à l'axe de l'hélice; celle-ci agit alors sensiblement comme un courant rectiligne, égal en longueur à son axe. Au contraire, pour isoler l'action des courans circulaires de l'hélice, on neutralise le courant parallèle à l'axe, au moyen d'un fil intérieur qui revient par l'axe du tube, et on imite ainsi tous les effets des courans qui ont lieu dans des courbes fermées autour de l'axe de l'aimant.

Expériences de M. Arago.

64. Dès que les expériences de M. Oersted furent connues en France, M. Arago, qui les avait répétées devant l'Académie des sciences, chercha si l'action des fils conducteurs s'exercerait comme celle des aimans sur des corps susceptibles de prendre la vertu magnétique, mais qui ne l'auraient point encore reçue. Il essaya donc l'action d'un fil conducteur sur de la limaille de fer, et il vit que le fil se chargeait abondamment de cette limaille et l'attirait à distance comme un aimant. La limaille se détachait et tombait quand on supprimait le courant en détruisant la communication des deux pôles de la pile avec le fil. Ces actions n'étaient point de la même nature que les actions électriques ordinaires, puisque la limaille de cuivre et de laiton et la sciure de bois n'étaient point attirées par le fil conducteur. En remplaçant la limaille de fer par de petites parcelles d'acier, on peut leur donner une aimantation permanente, et M. Arago aimanta ainsi complétement une aiguille à coudre.

Aimantation de l'acier par le fil conducteur plié en hélice.

65. M. Arago communiqua ces expériences à M. Ampère, et d'après les considérations que ce dernier avait faites sur l'existence et sur le sens des courans électriques dans les aimans, ils pensèrent que si l'on entourait

un barreau d'acier des spires d'un fil conducteur plié en hélice, il se produirait, dans ce barreau, des courans qui seraient dans le même sens que ceux de l'hélice enveloppante; en sorte que des deux extrémités du barreau, celle-là deviendrait un pôle austral, qui serait à gauche des courans transversaux de l'hélice pour l'observateur situé dans ces courans et regardant le barreau, parce que c'est cette extrémité qui se trouve à droite de l'observateur placé dans les courans qui se développent dans le barreau, la face tournée vers l'hélice. Or, c'est ce que l'expérience a confirmé complétement, et l'aimantation produite par ce moyen sur un fil d'acier est complète.

M. Arago, en pliant deux hélices en sens contraire autour d'un même tube et mettant dans chaque hélice un fil d'acier, reconnut de même, conformément à ce que la théorie indique, qu'ils étaient aimantés en sens contraire, en sorte qu'il suffit de changer la direction transversale du courant pour changer les pôles du barreau que l'on veut aimanter. Avec un seul fil d'acier, engagé dans deux hélices différentes pliées autour d'un même tube en sens contraire, on obtient dans la partie du fil d'acier qui répond à la jonction des deux hélices, un des pôles intermédiaires que l'on nomme points conséquens; en sorte que les deux extrémités du barreau ont, par exemple, l'une et l'autre un pôle boréal; le milieu montrant toutes les propriétés d'un pôle austral. En effet, en partant de l'extrémité du barreau où le courant de l'hélice produit un pôle boréal, si on arrête le fil de l'hélice vers le milieu du barreau, il y a là un pôle austral, et comme dans l'autre partie du barreau le courant tourne en sens contraire, il y a d'abord, dans cette seconde partie du barreau, un second pôle austral contigu au premier, et enfin, à l'extrémité de cette partie, un pôle boréal. Avec le même procédé, et seulement en changeant plusieurs fois la direction transversale qu'ont les spires des différentes hélices qui enveloppent le fil, on peut développer autant de points conséquens que l'on veut sur le même barreau.

M. Arago s'est aussi assuré qu'un fil conducteur droit n'agit point pour aimanter une aiguille que l'on dispose parallèlement à sa longueur. On voit en effet qu'alors

le fil ne peut point y produire de courant transversal. Depuis, sir H. Davy a aimanté avec le fil droit de petites aiguilles d'acier en les frottant transversalement et d'une extrémité à l'autre, toujours dans le même sens, sur un fil conducteur auquel la longueur de l'aiguille était perpendiculaire; ce qui est aussi une suite de la théorie.

Aimantation de l'acier par l'électricité due au frottement.

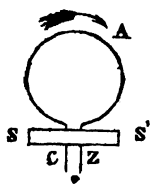
66. M. Arago a complété les résultats qu'il avait obtenus avec la pile, en produisant les mêmes effets au moyen de l'électricité ordinaire. Il suffit pour cela de faire passer au travers des spires d'une hélice une série d'étincelles tirées du conducteur de la machine électrique. Si on les tire d'un conducteur positif, l'effet est le même pour l'aimantation du fil renfermé dans l'hélice que si le bout de cette hélice qui reçoit les étincelles était mis en communication avec le pôle positif de la pile. En tirant les étincelles d'un conducteur négatif, l'effet est en sens contraire. Plusieurs physiciens avaient essayé déjà d'aimanter l'acier par des décharges électriques qu'ils faisaient passer au travers. Par ce moyen, on n'obtenait jamais une aimantation dont le sens fût déterminé, et sans doute l'effet produit alors tenait à quelque mouvement giratoire de l'électricité. M. Arago dans ses expériences a eu soin d'empêcher l'électricité de passer au travers du fil d'acier, et même il a plusieurs fois renfermé ce fil dans un tube de verre scellé à la lampe.

La foudre en tombant sur des vaisseaux a quelquefois renversé les pôles des boussoles. On peut expliquer cet effet d'après les expériences précédentes, en admettant que dans sa marche, l'électricité atmosphérique a agi en tournoyant sur les aiguilles aimantées; lors même que la foudre n'aurait décrit autour d'elles qu'une petite portion de circonférence, l'effet produit par une cause si énergique aurait pu être très-grand.

Appareils de M. de la Rive.

67. Une manière très-simple de se procurer un courant mobile est celle qu'emploie M. de la Rive. Son appareil consiste en deux petites lames C, Z, fig. 32,

Fig. 32.



l'une de cuivre et l'autre de zinc, qu'on fixe dans un morceau de liége SS′, de manière à ce qu'elles puissent flotter sur de l'eau acidulée servant de conducteur au courant électrique que l'on établit en joignant par un fil délié la petite lame de cuivre à celle de zinc; on peut ensuite donner au fil qui joint ces deux plaques telle forme que l'on veut, en cercle, en spirale, en double hélice, etc., et répéter ainsi une partie des expériences sur l'action mutuelle d'un aimant et d'un conducteur voltaïque dont nous avons parlé plus haut. Si on présente au centre du cercle flottant CAZ, le pôle d'un aimant dont les courans soient dans le même sens que le courant établi dans ce cercle, on trouve que celui-ci est attiré et marche vers l'aimant; et si on maintient l'axe de ce dernier perpendiculaire au plan du cercle et passant par son centre, on voit ce cercle s'arrêter en équilibre stable quand il est vis-à-vis le milieu de l'aimant, ce qui provient de ce qu'il est attiré par toutes les tranches de l'aimant à la fois. Avec une direction contraire des courans le cercle est repoussé par toutes les tranches, et sa position vis-à-vis le milieu de l'aimant produit un équilibre instable, en sorte que quand il a commencé à marcher d'un côté, il s'éloigne continuellement du milieu, finit par dépasser l'extrémité de l'aimant, et s'éloigne ensuite indéfiniment.

Télégraphe électro-magnétique.

68. On pourrait se servir dans certains cas de l'action de la pile sur l'aiguille aimantée pour transmettre des indications au loin. Il faut alors employer un fil conducteur assez gros, parce que le courant électrique s'affaiblit très-sensiblement dans les fils fins quand la longueur du circuit est considérable; cet inconvénient n'a pas lieu avec un fil d'un diamètre suffisant, alors l'aiguille se met en mouvement dès que l'on établit la communication. Nous ne nous arrêterons pas à développer les cas où ce genre de télégraphe présenterait quelque utilité, et pourrait être substitué aux porte-voix et aux autres moyens de transmettre des signaux. Il nous suffira de remarquer que cette transmission est pour ainsi dire instantanée. M. Sœmmering avait imaginé un télégraphe du même genre, mais au lieu d'employer l'action d'un faisceau de fils sur autant d'aiguilles aimantées qu'il y a

de lettres, il proposait d'observer la décomposition de l'eau dans autant de vases séparés.

Action d'une pile formée d'un seul couple.

69. Il n'est pas besoin d'avoir une pile à plusieurs couples pour produire les effets des courans électriques. M. Oersted a montré qu'on peut faire dévier l'aiguille aimantée en disposant au-dessus d'elle un fil de laiton ordinaire terminé à l'une de ses extrémités par un fil de cuivre que l'on a soudé ou tortillé avec lui, et à l'autre extrémité par un fil de zinc qui lui est uni de la même manière. L'aiguille se met en mouvement au moment où l'on plonge le fil de cuivre et le fil de zinc dans un même vase plein d'eau acidulée. Le même conducteur agit à plusieurs millimètres de distance sur l'aiguille flottante (art. 54), et au moyen de l'appareil (art. 53), avec la suspension par un fil de soie, on obtient les attractions et répulsions mutuelles des courans électriques ainsi que leur direction par l'action du globe. Mais par ce moyen, plus simple que ceux qu'a employés M. Ampère quand il a découvert ces phénomènes, on n'obtient que des actions infiniment plus faibles; cependant il a suffi à M. de la Rive pour produire le phénomène si remarquable de la direction du circuit voltaïque par la terre. M. Babinet a aussi obtenu le même résultat après M. de la Rive, mais à une époque où il n'avait aucune connaissance du travail de ce dernier, Le procédé employé par M. Babinet a été décrit (art. 53).

Expériences de M. Schweiger.

70. M. Schweiger est parvenu à obtenir des actions très-énergiques avec une pile voltaïque d'un seul couple, en en joignant les deux extrémités par un fil recouvert de soie, qui revient plusieurs fois sur lui-même, de manière à faire parcourir au courant un nombre aussi grand que l'on veut de circonférences entre le cuivre et le zinc qui plongent dans l'eau acidulée; on obtient ainsi une force directrice d'autant plus énergique que ce fil forme plus de circonvolutions. Ces appareils ont été variés de diverses manières par leur auteur, et lui ont servi pour des expériences très-curieuses; ils sont surtout remarquables par la grande force avec laquelle les aimans agissent sur eux, et en ce qu'ils fournissent le moyen le plus simple de constater les propriétés des fils conducteurs, et de vérifier dans quelles positions respectives des courans de

l'aimant et du courant du circuit voltaïque, il y a attraction ou répulsion entre eux.

Actions mutuelles des aimans.

71. Le problème général à résoudre pour suivre, dans tous ses détails, l'action de deux aimans l'un sur l'autre, consiste à trouver les forces qui résultent de toutes les actions des courans qui ont lieu en chaque point de la masse des deux aimans, entre les molécules desquels nous avons admis la même disposition électrique qu'entre les élémens de la pile de Volta. L'aimant agit par l'ensemble des actions de toutes les parties des courans, dont il est pour ainsi dire l'assemblage, du moins quand on ne le considère que sous le point de vue des effets qu'il produit. Il faudra faire entrer dans le calcul de chaque action réciproque entre deux petites portions de courans, 1° l'énergie du courant dans chacune des deux petites parties en question; énergie qui, par l'attraction mutuelle des courans d'un même aimant, doit être, comme M. Ampère l'a dit dans le temps de ses recherches sur ce sujet, d'autant plus grande, que les courans sont plus près du milieu, de même que dans le globe terrestre (art. 19); 2° la loi suivant laquelle (art. 16) diminue l'action mutuelle de deux petites portions de courans, situées dans le même plan, quand elles ne sont pas l'une et l'autre perpendiculaires à la ligne qui joint leurs milieux; 3° la loi relative à l'affaiblissement de cette action, quand les deux petites portions ne sont pas dans le même plan, l'action variant alors (art. 17) avec l'angle que font les deux plans menés par les directions de ces petites portions, et par la ligne qui en joint les milieux; 4° enfin cette autre loi, que la même action, toutes choses égales d'ailleurs, est en raison inverse du carré de la distance.

Le calcul appliqué à ces lois détermine tous les effets qui doivent avoir lieu entre les aimans, ou, plus généralement, entre deux assemblages de courans électriques, dont on connaît l'énergie et la direction en chaque point de l'espace dans lequel ils sont distribués; et réciproquement, d'après les données de l'expérience, on peut re-

monter à la constitution qu'il faut supposer aux courans, dans les divers points de l'aimant, pour reproduire les faits observés. L'exposition que nous faisons ici de la théorie, ne comporte point que nous donnions les développemens algébriques et les formules qu'on en déduit. Nous allons seulement faire voir comment on peut tirer des principes posés jusqu'ici, l'explication des différentes circonstances que présente l'action mutuelle de deux barreaux déjà aimantés, et celle qu'exerce un barreau aimanté sur un autre barreau, pour lui communiquer la vertu magnétique.

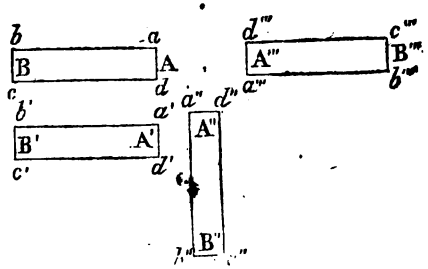
72. Pour nous faire une idée nette de l'action mutuelle de deux aimans, rappelons-nous ce qui a été dit (art. 18 et 19) de celle du globe sur un aimant. Nous avons vu que les courans électriques qui ont lieu dans la terre, vont de l'est à l'ouest, perpendiculairement au méridien magnétique, comme l'indique la direction que prend la partie inférieure d'un conducteur mobile, fig. 6 et fig. 12, dans laquelle le courant va toujours de l'est à l'ouest, quand le conducteur s'est fixé dans la direction que le globe tend à lui donner. Il faut en conclure, comme nous l'avons fait, que, dans un aimant dirigé par le globe, les courans qui environnent son axe dans des courbes fermées, vont aussi de l'est à l'ouest dans la partie inférieure de l'aimant la plus voisine de la terre, qu'ils vont de l'ouest à l'est dans la partie supérieure, et enfin qu'ils sont ascendans à l'ouest de l'aimant et descendans à l'est.

Dans le globe, les courans allant de l'est à l'ouest, le pôle austral se trouve à leur droite, pour l'observateur situé dans ces courans et regardant l'aiguille aimantée qu'ils dirigent. D'après ce que nous avons vu, celle-ci doit se placer de manière que les courans de sa partie inférieure, qui est la plus voisine du globe, soient aussi dirigés de l'est à l'ouest, alors l'observateur placé dans ces courans, et regardant la terre, aura à sa droite le pôle de l'aiguille qui est tourné vers le nord. Ainsi d'après la théorie, la position où se fixe un aimant est, comme l'observation le donne, celle où les pôles de nature différente du globe et de cet aimant sont tournés vers les mêmes côtés de l'espace. Nous entendons, comme dans

l'art. 30, par pôles de nature différente, deux pôles dont l'un est à droite et l'autre à gauche des courans, en définissant la droite et la gauche comme nous l'avons fait dans cet article. Il est évident maintenant que les mêmes raisonnemens s'appliquent immédiatement à la direction d'un aimant par un autre. Quand celui qui est mobile s'est fixé, les courans voisins dans les deux aimans doivent être dirigés dans le même sens. Les observateurs qui, placés dans ces courans, se regardent l'un l'autre, ayant chacun le dos tourné à l'axe de son aimant, ont tous deux le pôle austral à leur droite, et comme la droite de l'un correspond à la gauche de l'autre, les deux aimans tournent vers les mêmes points de l'espace leurs pôles de nom différent. Il n'est pas besoin de rappeler que c'est en effet ce qui a lieu.

73. Si deux aimans sont dirigés par le globe, leurs pôles de même nom seront tournés vers le même côté de l'espace. Supposons les tels que *abcd*, *a'b'c'd'*, fig. 33,

Fig. 33.

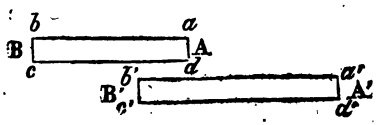


de même longueur et placés à côté l'un de l'autre. Les pôles de même nom étant voisins, ils se repousseront. En effet, dans la partie voisine des deux aimans les courans vont en sens contraire. Pour le voir plus clairement imaginons ces deux aimans horizontaux, à la même hauteur, et dans la situation que leur donne l'action de la terre, le premier étant à l'ouest, le second à l'est. Leurs courans voisins seront les courans de l'est pour l'aimant occidental, et les courans de l'ouest pour l'aimant oriental. Or, les courans de l'est d'un aimant horizontal dirigé par le globe sont descendans, ceux de l'ouest au

contraire sont ascendans; il y aura donc entre les courans de ces aimans la répulsion que donne l'expérience; en faisant tourner de deux angles droits l'un des aimans autour de son milieu sans qu'il sorte du plan vertical où il était primitivement, on le changera bout pour bout; les courans de sa partie la plus proche de l'autre aimant auront alors une direction contraire à celle qu'ils avaient d'abord, et par conséquent, les courans des deux faces voisines étant dirigés dans le même sens, il y aura attraction dans cette nouvelle situation, où l'on voit d'ailleurs que les pôles de nom contraire se trouvent du même côté.

74. Lorsque les deux aimans *abcd*, *a'b'c'd'*, fig. 33, dont les pôles de même nom A et A', B et B' sont voisins, se repoussent, cette répulsion provient de ce que les courans ascendans de la face de l'aimant A'B' projetée en *a'b'* sont ascendans et repoussent les courans descendans de la face voisine *cd* de l'aimant AB. L'action réciproque des courans de ces deux faces, ou plus généralement de toutes les faces semblables des enveloppes dont on peut concevoir l'aimant composé, détermine (art. 29) la nature de l'action mutuelle des deux aimans. Mais il n'en est plus de même quand les deux aimans, sans cesser d'être parallèles, ne sont pas vis-à-vis l'un de l'autre comme dans la fig. 34.

Fig. 34.

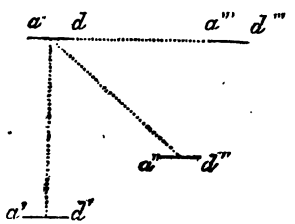


En effet on voit que les courans de la face *cd* n'ont plus autant l'avantage de la proximité et de l'action directe pour repousser ceux de la face *a'b'*, et s'il était permis de se borner aux actions mutuelles des quatre faces verticales projetées en *ab*, *cd*, *a'b'*, *c'd'*, on verrait facilement qu'il y a répulsion entre *cd* et *a'b'* et entre *ab* et *c'd'*, tandis qu'il y a attraction entre *ab* et *a'b'*, et entre *cd* et *c'd'*; si l'on fait attention que la répulsion des faces voisines *cd* et *a'b'* est plus affaiblie par l'obliquité que ne

l'est l'attraction des faces ab, $a'b'$ et cd, $c'd'$, on concevra facilement qu'il y a une certaine position des deux aimans où la répulsion cesse pour faire place à l'attraction, comme le montre l'expérience.

75. Pour ne rien laisser à désirer sur ce sujet il faudrait qu'il nous fût permis ici d'avoir recours au calcul, et d'y soumettre l'action mutuelle de deux des courans en courbes fermées, dont nous admettons que les aimans sont composés. Supposons, par exemple, que les deux courans parcourent des circonférences de cercles dont les plans soient verticaux, et qu'on les présente l'un à l'autre dans différentes positions, en maintenant toujours les centres des deux circonférences à la même distance, à la même hauteur, et leurs plans parallèles. Soit ad fig. 31,

Fig. 31.



la projection horizontale de la circonférence que suit un de ces courans. Soient de même $a'd'$, $a''d''$, $a'''d'''$, les projections de l'autre courant dans les diverses positions que nous lui donnons successivement. Il est aisé de voir que dans la situation $a'd'$ du second courant, où il est vis-à-vis du premier, il y a attraction entre eux. Cette attraction va en diminuant à mesure que le second courant s'éloigne de la situation $a'd'$, en sorte qu'elle devient nulle quand il est, par exemple en $a''d''$, pour une obliquité déterminée des plans des deux circonférences sur la ligne qui en joint les centres; qu'enfin passé ce terme, il y a une action répulsive qui va toujours en augmentant jusqu'à ce que le second courant arrive en $a'''d'''$ dans le plan du premier.

76. Cela posé on voit que, quand les deux aimans

AB, A'B', ne sont pas vis-à-vis l'un de l'autre, mais placés comme dans la figure 34, il y a répulsion entre tous les courans voisins dont les plans ont avec la ligne qui en joint les centres une obliquité plus grande que celle où la répulsion se change en attraction, tandis qu'il y a attraction entre tous les autres pour lesquels l'obliquité est moindre, et l'on conçoit ainsi qu'en faisant mouvoir l'un des aimans de manière à rapprocher de plus en plus deux pôles de nom contraire, tels que A et B', il y a un instant où la répulsion se change en attraction. Car le nombre des courans dont la situation est analogue à celle de *ad* et *a'''d'''*, fig. 31, et donne lieu à la répulsion, va en diminuant, et au contraire le nombre de ceux qui s'attirent parce que leur situation respective se rapproche de celle *a'd'* à l'égard de *ad*, va en augmentant. C'est pour cette raison que deux aimans s'attirent dans la situation représentée fig. 34, quand le pôle B' de l'aimant A'B' répond à un point de l'autre aimant suffisamment rapproché de A. Alors deux pôles de nom différens A et B' sont voisins.

De même en partant de la position de deux aimans où leurs axes sont situés dans la même droite et s'attirent, ce qui a lieu quand les pôles de même nom sont voisins et les courans des deux aimans dans le même sens, on verrait, en les faisant passer de cette position à celle de la fig. 34, que l'attraction s'affaiblit de plus en plus, et qu'en continuant de les déplacer dans le même sens, elle devient nulle et fait enfin place à la répulsion : alors deux pôles de même nom se trouvent voisins.

77. Pour examiner un des cas où les aimans agissent sans avoir leurs axes parrallèles, partons de la position qu'occupent les deux aimans AB, A'B', fig. 33, où les deux pôles voisins A et A' se repoussent, et plaçons l'aimant A'B' en A''B'' pour le faire agir sur l'aimant AB; il devra y avoir encore la répulsion que l'on observe dans ce cas. En effet, les courans des faces *cd*, *a''b''*, se repoussent encore comme dans la position précédente, quoique plus faiblement, à cause de l'augmentation de distance; mais de plus le courant ascendant en *a*, par exemple, repousse le courant descendant en *d''*. En passant de suite au cas extrême où les deux aimans AB,

A'''B''' ont leurs axes sur la même ligne, et leurs pôles de même nom voisins, on voit que les courans projetés en *ad*, par exemple, tournent en sens contraire de ceux qui sont projetés en *a'''d'''*, et qu'il y a répulsion en général, entre deux tranches quelconques des deux aimans.

Quand on applique le calcul à ces phénomènes, le cas que nous venons d'examiner ici, où les axes des aimans ne sont plus parallèles, se rapporte à l'action des deux courans, que nous avons considérée (art. 75), avec la seule différence que les plans de ces courans au lieu d'être parallèles, font un angle quelconque entre eux; circonstance qui doit être introduite dans les formules. Nous avons encore supposé que les deux axes des aimans étaient dans le même plan; dans le cas contraire, le calcul doit être appliqué à la détermination générale de l'action mutuelle de deux courans en courbes fermées situés dans des plans quelconques.

Aimantation d'un barreau par l'action d'un courant, en considérant l'aimant comme un assemblage de courans électriques.

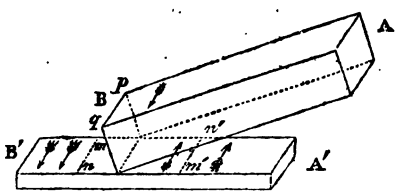
78. Nous avons vu qu'un aimant agissait, quant à sa longueur, comme un fil conducteur plié en hélice, et quant aux surfaces perpendiculaires à son axe qui en termine les deux bouts comme un conducteur plié en une spirale plane. Cette identité d'action se soutient dans celle qu'un aimant exerce sur un barreau d'acier pour lui communiquer la vertu magnétique, précisément comme le fait le fil métallique qui joint les deux extrémités de la pile, dans les expériences où l'on emploie ce fil pour aimanter un barreau.

Supposons d'abord qu'on place sur ce barreau une spirale dont le centre réponde à un point quelconque de sa longueur, on verra à ce point se former un point conséquent, et les deux parties du barreau de chaque côté de ce point s'aimanter de manière que les courans électriques qu'admet, dans les aimans, la théorie que nous exposons, se trouvent dirigés comme ceux de la spirale dans les points où elle touche le barreau, et que les deux extrémités de celui-ci soient par conséquent des pôles de même nom, de l'espèce des pôles magnétiques que représente la spirale vue du côté où elle agit sur le barreau. Cette expérience, facile à répéter ne diffère point de l'aimantation d'un barreau par un fil transversal, d'a-

près le procédé de sir H. Davy. Substituons maintenant à la spirale le pôle d'un aimant où les courans tournent dans le même sens que dans cette spirale, de manière que son axe soit comme celui de la spirale perpendiculaire au barreau, celui-ci sera aimanté précisément de la même manière, il se formera de même un point conséquent au milieu de la partie du barreau touchée par le pôle de l'aimant, et ses deux extrémités présenteront, comme dans le cas de la spirale, un pôle de même nom que celui de l'aimant qui aura touché ce barreau.

79. En faisant glisser, soit la spirale, soit l'aimant, d'une extrémité à l'autre du barreau toujours dans le même sens, la partie de ce barreau qui se trouvera à chaque instant du côté par où commence le mouvement conservera les courans qui y auront été produits; mais les courans produits dans l'autre partie seront détruits et changés en courans dans la direction opposée, à mesure que le mouvement de la spirale ou de l'aimant les fera trouver de l'autre côté de cette spirale ou de cet aimant, en sorte que l'extrémité du barreau par laquelle aura commencé le mouvement devra présenter un pôle de même nom que celui de l'aimant, et l'extrémité par laquelle il aura fini offrira un pôle de nom contraire, ce qui est conforme à l'expérience. On voit, par exemple, dans la figure 30,

Fig. 30.



où B′ A′ représente le barreau, que quand on le frotte avec le pôle boréal d'un aimant élevé à angle droit au-dessus de lui, en allant de B′ en A′, cet aimant doit, en supposant que ses courans agissent comme ceux d'un fil conducteur dans les expériences de sir H. Davy, produire, depuis l'extrémité B′ jusqu'au point de contact,

des courans *mn*, dans la direction des flèches marquées de ce côté dans la figure, tandis qu'il doit produire, depuis le même point de contact jusqu'à l'autre extrémité A′ du barreau B′A′ des courans *m′n′*, dirigés en sens contraire, comme les flèches qu'on voit de ce côté. Mais quand l'aimant, en parcourant le barreau, sera arrivé en A′, tous les courans produits dans ce dernier sens auront été détruits et produits en sens contraire à mesure que l'aimant se sera porté entre eux et le point A′; ils se trouveront donc tous dirigés comme les premiers courans *m n*; le pôle B′ sera à gauche d'un observateur placé dans ces courans et le dos tourné à l'axe de l'aimant B′ A′; ce sera donc un pôle boréal, et le pôle A′ un pôle austral, comme on l'observe en effet.

Mais si le barreau est d'un acier très-dur, les courans *m′n′* produits d'abord en sens contraire entre le point de contact et le point A′, pourront subsister malgré l'aimantation en sens contraire que tendent à recevoir ensuite les points du barreau où ils existent, et alors ce barreau offrira des points conséquens, comme il arrive en effet souvent quand on emploie ce procédé d'aimantation.

80. Si l'on suppose qu'on incline l'aimant dont on se sert pour aimanter le barreau en lui donnant la situation où il est représenté en A B dans la figure, on rendra l'aimantation plus facile et on tendra à diminuer le nombre des points conséquens, pourvu que l'inclinaison ne soit pas trop grande. Pour bien concevoir cette circonstance, il faut faire attention que si elle tend à diminuer l'action d'une partie des courans de l'aimant situés vers *p q*, parce qu'on les éloigne par-là du barreau; cette action est augmentée pour les courans *m n* qui se trouvent entre B′ et le point où l'aimant touche le barreau, parce que les courans de l'aimant AB, au lieu d'agir pour produire dans le barreau des courans situés dans des plans perpendiculaires aux leurs, agissent pour en produire dans des plans avec lesquels ils forment un angle aigu, égal à l'angle des axes de l'aimant et du barreau, ce qui ne peut manquer de favoriser leur action; c'est précisément le contraire pour les courans *m′n′*, à la production desquels l'obliquité de l'aimant A B ne peut être

que défavorable, comme le montre la grande faiblesse de l'action qu'à exercée, dans les expériences de M. Arago, un fil conducteur plié en hélice pour aimanter une aiguille placée en dehors de cette hélice. Les courans *mn* qui subsistent seuls après l'aimantation, devront donc être plus énergiques quand l'aimant est incliné que dans le cas où on le tient dans une direction perpendiculaire à celle du barreau, malgré l'inconvénient d'une distance plus grande entre quelques-uns des courans de l'aimant et les points du barreau qu'ils tendent à aimanter, tandis que les courans *m'n'*, qui doivent être détruits, ne peuvent que perdre de leur intensité à mesure que l'axe de l'aimant s'incline sur celui du barreau, du moins tant que l'angle de ces axes ne devient pas trop petit, parce que dans ce dernier cas le changement de distance prenant une plus grande influence, l'action de l'aimant pour produire les courans *mn*, irait à son tour en diminuant, et le barreau s'aimanterait moins bien que quand l'aimant est médiocrement incliné sur le barreau. Il est inutile de rappeler que ces divers résultats sont tous conformes à l'expérience.

81. Si au lieu de promener le long du barreau un seul aimant dont l'axe fasse un angle droit avec le sien, on en emploie deux, à une petite distance l'un de l'autre, qui le touche par des pôles de noms contraires, il est évident que d'après la manière dont les courans électriques tendent à en établir dans un barreau d'acier, les actions des courans que nous admettons dans ces deux aimans, se contrarieront pour tous les points du barreau situés hors de l'intervalle des deux aimans, tandis qu'elles se réuniront pour produire des courans dans le même sens pour tous les points du même barreau situés dans cet intervalle. Ces derniers courans acquérant ainsi une énergie bien supérieure à celle des premiers, subsisteront seuls lorsque les aimans ayant parcouru toute la longueur du barreau, l'intervalle qui les sépare aura occupé successivement toutes les parties de cette longueur. C'est ce moyen d'aimantation qui est connu sous le nom de *double touche*, et il est aisé de voir que toutes les circonstances qu'il présente sont une suite nécessaire de notre théorie et de l'aimantation d'un barreau

d'acier par un conducteur voltaïque. L'analogie de l'explication déduite de cette théorie et de celle qu'on donne de la double touche dans l'hypothèse de deux fluides magnétiques agissant d'après les mêmes lois que les deux fluides électriques, nous dispense d'entrer à ce sujet dans de plus grands détails.

82. M. Arago a montré par une expérience très-simple que quand un barreau est aimanté sur une partie de sa longueur, cette partie tend, par son action sur le reste du barreau, à en continuer l'aimantation dans le même sens, pourvu qu'il ne soit pas d'une trempe trop dure, afin que cet effet ne soit pas empêché par la difficulté d'aimanter un acier très-fortement trempé, et même dans ce cas l'aimantation a encore lieu dans le même sens dans les parties voisines de la partie déjà aimantée; on s'en assure aisément en enveloppant d'un conducteur plié en hélice une partie seulement d'un fil d'acier pendant quelque temps, et en examinant ensuite ce fil d'acier avec une petite aiguille aimantée, on trouve qu'il est aimanté dans le même sens sur une étendue qui est ordinairement à peu près double de celle qui était enveloppée par le conducteur; seulement l'intensité va en diminuant graduellement à mesure qu'on s'éloigne de la partie enveloppée. Ce fait qui est une conséquence nécessaire et immédiate de la théorie où l'on considère les phénomènes magnétiques comme produits par des courans électriques, s'explique également dans la théorie ordinaire de l'aimant, puisque dans un barreau aimanté en partie, chaque particule de la portion aimantée tend à décomposer le fluide de la particule suivante, de manière à lui donner des pôles situés dans le même sens que les siens, afin que les pôles voisins dans ces deux particules soient d'espèces opposées, comme cela doit être dès qu'on admet que les deux fluides magnétiques s'attirent mutuellement et que chacun d'eux repousse les molécules magnétiques de même espèce que les siennes.

83. Lorsqu'à l'extrémité d'un barreau d'acier ou de fer, on applique le pôle d'un aimant en ligne droite avec le barreau, celui-ci s'aimante dans la partie qui est voisine du point de contact, dans le même sens que l'est cet

aimant, ce qui s'explique également bien dans les deux hypothèses, puisque si l'on admet dans l'aimant des courans électriques, ils doivent, d'après l'expérience de M. Arago, que nous venons de citer, en produire dans le barreau, qui tournent autour de son axe dans la même direction, et en font par conséquent un nouvel aimant dont les pôles sont situés, l'un par rapport à l'autre, dans le sens que ceux du premier aimant; et que si l'on attribue au contraire les phénomènes magnétiques à la séparation, dans chacune de ses particules, des deux fluides qui s'y neutralisaient auparavant par leur réunion, l'effet de l'aimant, quand il touche par exemple le barreau par son pôle austral, est d'attirer le fluide boréal de chaque particule et d'en repousser le fluide austral, en sorte que toutes les particules deviennent des aimans dont le pôle boréal est du côté de l'aimant, et le pôle austral du côté opposé, en sorte qu'elles se trouvent toutes aimantées dans le même sens que lui. Quelle que soit celle de ces deux hypothèses qu'on adopte, on en doit conclure également que la partie déjà aimantée ne peut agir sur celle qui ne le serait pas encore que comme le fait l'aimant lui-même, puisque les pôles de cette partie sont situés dans le même sens que ceux de l'aimant; elle ne peut donc que tendre à propager successivement l'aimantation toujours dans le même sens jusqu'à l'autre extrémité du barreau, c'est ce qui arrive en effet quand il est de fer doux, et la propagation des propriétés magnétiques le long du barreau est en général très-rapide dans ce cas, parce que cette substance n'oppose qu'une très-faible résistance, soit dans l'une des hypothèses à la production des courans électriques, soit dans l'autre à la séparation des deux fluides magnétiques.

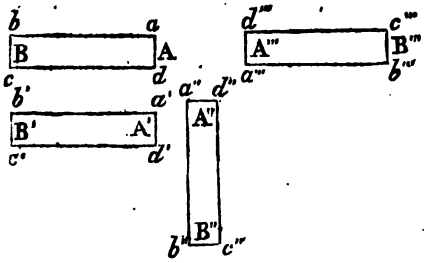
84. Mais quand le barreau est d'acier, surtout quand il est trempé de manière à ce qu'il n'acquière qu'avec difficulté les propriétés de l'aimant, on observe un phénomène très-remarquable dont l'explication mérite une attention particulière. Ce phénomène consiste en ce qu'alors il se forme un point conséquent sur le barreau, et que ce barreau présente, au delà de ce point, des pôles situés en sens opposé à celui des pôles de la partie qui est en contact par son extrémité avec l'aimant, et en

a reçu une aimantation semblable à celle de cet aimant.

Il est bien démontré par l'espèce des pôles qui se développent aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse, par lesquelles ces fragmens adhéraient avant la rupture, que l'hypothèse des deux fluides magnétiques ne peut subsister qu'en admettant, comme l'a établi le célèbre Coulomb, que ces deux fluides ne passent jamais, ainsi que le fait l'électricité, d'une particule à l'autre, et que tous les phénomènes magnétiques sont dus à leur séparation dans une même particule, en sorte qu'un aimant n'est qu'un assemblage d'autant de petits aimans qu'il contient de particules, dont chacun a un pôle austral et un pôle boréal. Il est évident alors que quand un barreau a été aimanté sur une partie de sa longueur par le contact d'une de ses extrémités avec un aimant, la partie aimantée l'étant dans le même sens que cet aimant, elle ne peut agir que comme lui, et qu'elle joint nécessairement son action à la sienne pour propager l'aimantation le long du barreau, toujours dans le même sens; à quoi peut-on donc attribuer dans cette supposition la production d'un point conséquent, et l'aimantation en sens contraire de la partie du barreau située au delà de ce point?

85. Il paraît d'abord qu'on tombe dans le même inconvénient lorsqu'on attribue les phénomènes magnétiques aux courans électriques qui s'établissent dans le barreau, car lorsqu'il n'y a encore des courans que dans une partie du barreau, ils doivent tendre à en produire de proche en proche, dans le même sens, dans toute la partie où il n'y en a point encore. Pour voir comment il peut arriver, par la difficulté que ces courans éprouvent à se produire dans l'acier fortement trempé, qu'il se forme un point conséquent, et au delà de ce point des courans qui tournent dans le sens opposé, considérons les trois barreaux AB, A″B″, A‴B‴ (fig. 33),

Fig. 33.



et supposons que le premier seul soit aimanté, et qu'en les laissant dans les directions où ils sont représentés dans cette figure, on les rapproche les uns des autres de manière que l'angle *a* du premier touche l'angle *a''* du second, et l'angle *d''* de celui-ci l'angle *a'''* du troisième, il est clair qu'en regardant A comme le pôle austral de l'aimant AB, ses courans dans sa face antérieure suivront la direction *ad*, puisque c'est en plaçant l'observateur dans cette direction, le dos tourné à l'axe de l'aimant, que l'extrémité A se trouve à sa droite; le courant qui s'établira dans le barreau A''B'' devra, d'après tout ce que nous avons dit, avoir la même direction au point où l'angle *d* est supposé en contact avec l'angle *a''*; il passera donc par la face postérieure de ce barreau de *a''* en *d''*, et reviendra par la face antérieure dans la direction *d''a''*, d'où il suit que A''B'' s'aimantera de manière que son pôle boréal sera en A'' à gauche de l'observateur placé dans ce courant et tournant le dos à l'axe du barreau A''B''; ainsi aimanté ce barreau communiquera les propriétés magnétiques à A'''B''', de manière que leurs courans aient la même direction aux angles *d''* et *a'''* par lesquels ils se touchent; les courans produits dans le barreau A'''B''' iront donc sur sa face antérieure dans la direction *a'''d'''*, et comme l'extrémité A''' est à la droite de l'observateur placé toujours de la même manière dans ces courans, A''' sera le pôle austral de A'''B'''.

L'aimant AB qui aurait aimanté A'''B''' de manière que le pôle boréal de celui-ci fût en A''', s'il l'avait tou-

ché immédiatement, l'aimantera donc au contraire de manière que A''' soit un pôle austral de même nom que A, quand ils ne communiqueront que par l'intermède du barreau A''B'', dont l'axe est perpendiculaire aux leurs : or, c'est précisément ce qui arrive quand il se forme un point conséquent dans un barreau fortement trempé qui touche le pôle austral d'un aimant par une de ses extrémités. La partie voisine du barreau s'aimante d'abord de manière que cette extrémité est un pôle boréal, comme l'extrémité B de l'aimant AB que nous prendrons pour la représenter, en représentant l'autre partie du barreau par A'''B''' ; tant que l'électricité de cette dernière partie pourra obéir librement à l'action des courans de AB, on aura le cas où AB étant déjà aimanté et A'''B''' ne l'étant point encore, ils se touchent immédiatement, c'est-à-dire que l'aimantation se propagera toujours dans le même sens; mais si la dureté de la trempe s'oppose à cet effet, il arrivera dans le barreau, quoique continu, ce qui arrive à AB et à A'''B''' quand ils ne communiquent qu'à l'aide du barreau A''B'', dont l'axe est perpendiculaire à la direction des leurs ; il se formera dans le barreau continu des courans tournant autour d'une normale à sa surface, semblables à ceux qui se produisent dans A''B''. Ces courans tendront donc à aimanter le reste du barreau dont nous parlons en sens contraire, comme ceux de A''B'' aimantent A'''B''', de manière que ses pôles soient situés en sens inverse de ceux de AB, et il se produira ainsi un point conséquent, conformément à l'expérience que nous nous étions proposé d'expliquer.

86. C'est par cette tendance des courans électriques établis autour de l'axe d'un aimant à en produire, dans le sens que nous venons d'indiquer, autour de l'axe d'un barreau dont la direction est perpendiculaire à la sienne, qu'on explique, lorsqu'on considère les phénomènes magnétiques comme dus à des courans électriques, toutes les circonstances des effets produits par les armures. Les bornes dans lesquelles cet exposé devait être renfermé, et que nous n'avons déjà que trop dépassées, ne nous permettent pas d'entrer à cet égard dans des détails que le lecteur pourra aisément suppléer d'après

tout ce qui précède. Le même motif nous empêche de discuter toutes les circonstances que présente l'aimantation d'un barreau à l'aide d'un ou de plusieurs aimans dans les diverses situations qu'on peut leur donner l'un à l'égard de l'autre, et suivant les divers mouvemens qu'on peut leur imprimer. Ces circonstances peuvent être facilement prévues dans chaque cas, en partant de la théorie que nous avons adoptée, et dont nous venons d'expliquer les principes; elles en deviennent ainsi une confirmation très-propre à en compléter les preuves.

Causes auxquelles on peut attribuer les courans électriques de la terre et des aimans.

87. L'existence des courans dans le globe terrestre et dans les aimans se rattache naturellement à la propriété connue de deux corps en contact dont chacun enlève à l'autre une des deux espèces d'électricité. Lorsqu'ils communiquent en même temps, dans un autre point de leur surface, par des conducteurs liquides dont l'action ne détruit pas la leur, il se produit nécessairement ce que nous avons nommé courant électrique. Il suffit, comme nous l'avons dit plus haut, de supposer que dans l'acier aimanté les molécules sont rangées de manière à former transversalement à son axe la même disposition qui a lieu dans une pile dont les deux extrémités se rejoignent; chaque molécule avec l'espace qui la sépare de la suivante, faisant le même effet que dans la pile un élément cuivre, zinc et liquide. Nous ferons remarquer à ce sujet qu'il n'est pas nécessaire pour produire une action électromotrice que deux corps de nature différente agissent l'un sur l'autre, puisque l'on sait qu'au moyen d'une simple différence de température ou même de forme entre les deux parties d'un même métal, ce métal peut être employé à former une pile dans laquelle il fera un effet analogue à celui que le cuivre et le zinc à la fois font dans la pile ordinaire.

La direction des courans du globe terrestre de l'est à l'ouest est remarquable par sa direction à peu près opposée à celle du mouvement de la terre avec lequel cette direction a sans doute un rapport qu'on ne peut encore établir d'une manière incontestable. Dans l'hypothèse où l'espace serait rempli d'une matière très-élastique, le mouvement apparent de cette matière rapporté au globe coïnciderait aussi à peu près avec la direction des cou-

rans électriques, qui doit, peut-être, être attribuée à cette cause,

D'après les expériences connues où deux corps de même nature, mais à des températures différentes, agissent galvaniquement l'un sur l'autre, il est d'ailleurs probable que les courans du globe sont dus en partie à l'action calorifique du soleil qui, traversant dans son mouvement diurne tous les méridiens, en allant de l'est à l'ouest, échauffe successivement toutes les parties du globe qui sont sous ces divers méridiens, et établit ainsi des courans dans un sens déterminé. Au reste, indépendamment de cette considération, il n'est guère possible que dans un assemblage de matériaux hétérogènes, tel que le globe, les actions galvaniques ne fassent naître des courans qui, même en supposant leur intensité très faible, ne laisseraient pas de produire un effet sensible à cause de leur grand nombre. Mais, quelle que soit la cause de la disposition électrique du globe, c'est dans l'action du soleil sur les courans de sa surface, dont il doit [1] faire varier l'intensité, qu'il faudra chercher la cause des variations diurnes et annuelles de l'aiguille aimantée, tandis que les changemens de l'inclinaison et de la déclinaison, qui embrassent une période beaucoup plus longue, semblent devoir dépendre des variations bien plus générales qu'éprouverait la disposition de l'électricité en mouvement dans toutes les parties du globe à la fois.

88. La déclinaison de l'aiguille aimantée dans l'hypothèse que nous adoptons sur la cause des effets de l'aimant, est due à la différence qu'il y a entre l'est et l'ouest géographiques et la direction des courans terrestres auxquels l'aiguille est toujours perpendiculaire.

---

[1] L'action de la température sur l'intensité des courans électriques prouvée par divers phénomènes offerts par les piles voltaïques exposées à différentes températures, vient de recevoir une nouvelle confirmation par ceux que sir H. Davy a observés en chauffant ou refroidissant des parties d'un fil conducteur élevé par l'action voltaïque à la température où ce fil commence à rougir; dès qu'une partie est un peu moins chaude que l'autre, cet effet disparaît, et la partie qui l'est un peu plus passe à l'état d'incandescence. Comme nous ne connaissons point les détails des expériences de ce grand physicien, nous ne pouvons ici que les indiquer.

L'inclinaison se rapporte de la même manière à la direction d'un aimant par un conducteur, et elle est produite, pour les aimans comme pour les conducteurs électriques (art. 19.), par la tendance générale des courans à se disposer parallèlement et dans le même sens.

89. Nous avons considéré, dans cet exposé, les courans électriques des aimans comme tournant autour de leur axe; on peut aussi les considérer comme tournant autour de chacune de leurs particules, ainsi que M. Ampère l'a expliqué dans un mémoire lu à l'Académie royale des Sciences le 8 et le 15 janvier 1821. Dans cette seconde manière de concevoir les courans dans les plans perpendiculaires à l'axe, toutes les explications restent les mêmes; seulement ce que nous avons dit jusqu'à présent de l'aimant entier doit alors se dire de chaque particule, et toutes étant dirigées, attirées et repoussées comme nous l'avons expliqué, l'aimant formé de leur réunion est dirigé, attiré et repoussé de la même manière. Au reste, quand on admet que les courans ont lieu autour de chaque particule, il faut toujours, pour se faire une idée juste des effets qu'ils doivent produire, considérer une particule comme nous avons considéré l'aimant entier; et dans ce cas même il serait plus commode d'appliquer d'abord directement à celui-ci ce qu'il y aurait à dire de chaque particule, et d'ajouter ensuite cette simple observation que l'on peut toujours substituer à l'aimant total autant de petits aimans qu'il contient de particules. C'est ainsi que dans l'hypothèse des deux fluides magnétiques on supposa d'abord que lorsque ces deux fluides se séparaient dans un barreau d'acier, ils étaient chacun transporté à une des extrémités du barreau, et qu'on admit ensuite que la décomposition n'avait lieu que dans leurs plus petites parties, et qu'il n'y entrait ni n'en sortait jamais aucune molécule de l'un des deux fluides. Quoique ces deux manières de considérer la séparation des deux fluides magnétiques conduisent en général aux mêmes résultats, la nature des pôles qui se développent aux extrémités des deux fragmens d'un aimant que l'on casse, par lesquelles ils adhéraient avant la rupture, eut bientôt décidé entre elles, parce que cette circonstance ne pouvait s'expliquer que dans la

seconde hypothèse; mais le même moyen ne peut servir à décider entre les deux manières d'expliquer les phénomènes magnétiques par des courans électriques situés dans des plans perpendiculaires à l'axe de l'aimant, parce que, soit qu'on suppose qu'ils tournent autour de l'axe ou autour de chaque particule, ces courans restant dans le même sens après la rupture du barreau aimanté, doivent donner les mêmes pôles aux deux fragmens, et les donner tels que l'expérience montre qu'ils sont en effet, en sorte que la question reste jusqu'à présent indécise. Plusieurs raisons que M. Ampère se borna à indiquer rapidement dans le mémoire cité, le portent à croire que les courans ont réellement lieu autour de chaque particule de l'acier aimanté, et il regarde comme probable qu'ils y existent avant l'aimantation comme après; mais qu'étant alors dirigés les uns dans un sens, les autres dans un autre, il ne peut résulter aucune action de leur réunion, jusqu'à ce que l'aimantation leur donne à tous la même direction dans les particules auxquelles cette opération communique les propriétés magnétiques.

CORPS PONDÉRABLES.

SOUTIENS SIMPLES DE LA COMBUSTION.

Du Chlore.

Le chlore, qui paraît être susceptible de combinaison avec tous les combustibles simples, et de former avec ces corps, lorsqu'ils n'ont pas des propriétés acides, des composés appelés *chlorures*, peut s'unir également aux terres alcalines, aux alcalis et probablement avec quelques-uns des oxides métalliques. Ces combinaisons donnent naissance à une suite de chlorures, dont quelques-uns méritent une attention particulière, à raison des objets d'utilité, auxquels on en a appliqué l'usage. Parmi ces composés formés par l'union du chlore avec les terres alcalines, celui qui offre le plus d'importance, est le *sous-bichlorure de chaux*, qu'on distingue ordinairement par le nom d'*oximuriate* (*chlorate*) de chaux, ou *poudre de blanchiment*. Chlorures.

On prépare cette substance, qui se trouve ordinairement dans le commerce à l'état d'une poudre sèche, en faisant passer un courant de vapeur de chlore, à travers de la chaux éteinte, jusqu'à ce qu'elle refuse d'en absorber davantage. Il est nécessaire de maintenir, pendant cette opération, la chaux froide; on y parvient en entourant d'un courant d'eau froide les vaisseaux de plomb dans lesquels la poudre se prépare. Si l'on néglige de faire absorber ainsi la chaleur, elle s'accumule peu à peu, et à une certaine température, la chaux, perdant son oxigène, est convertie en calcium; de sorte, qu'au lieu de chlorure de chaux on obtient du chlorure de calcium, qui n'a aucune faculté blanchissante quelconque. On pourrait substituer, dans ce procédé, de la chaux non éteinte à l'hydrate de chaux; mais, dans ce cas, il est très-difficile d'éviter que la chaleur ne s'élève assez pour décomposer la chaux. Cependant, M. Thomson, annonce Sous-bichlorure de chaux.

qu'il a réussi à s'en servir, sans éprouver cet inconvénient, en opérant en petit.

C'est, suivant M. Thomson, M. Macintosh de Glascow, qui eut le premier l'idée, en 1798, de la préparation du chlorure de chaux à l'état solide, et elle fut immédiatement mise en pratique par Tennant et par lui. Il fut formé, pour la fabrication de chlorure de chaux, un établissement qui a été successivement porté à l'état de perfection où il est actuellement parvenu.

Propriétés. Ce chlorure, récemment préparé, est parfaitement sec au toucher; il est blanc, et d'une odeur particulière, ayant quelque rapport avec celle du chlore, mais beaucoup moins malfaisante; sa saveur est chaude et alcaline, ce qui est dû à de la chaux non combinée que la poudre contient toujours. La saveur de sa dissolution dans l'eau est astringente, et très-analogue à celle du chlore lui-même. Ce chlorure ne se dissout qu'en partie dans l'eau, il reste une quantité de chaux, qui varie en raison du soin qu'on a mis à le préparer, mais toujours elle est considérable. Cette dissolution a la propriété de détruire les couleurs bleues végétales, et les blanchisseurs en déterminent la bonne qualité, en essayant combien la dissolution d'un poids donné du chlorure peut décolorer d'une dissolution d'indigo dans de l'acide sulfurique d'une force connue. C'est cette propriété qui la rend d'un emploi utile pour le blanchîment. Il suffit de dissoudre la poudre dans l'eau, de décanter la liqueur claire, d'y mettre la toile à blanchir, et de l'y laisser séjourner pendant quelques heures; son blanchîment s'opère par ce simple procédé. Le chlorure de chaux, soumis à l'action de la chaleur, donne du gaz oxigène; car, à une température élevée, le chlore ayant pour le calcium une affinité plus forte que celle de l'oxigène pour cette base, il en sépare ce principe. Cette décomposition a lieu à une température, qui n'excède pas 316 degrés centigrades. Par cet effet de la chaleur sur le chlorure de chaux, il est converti en un mélange de chlorures de calcium et de chaux, dont le premier devient hydro-chlorate de chaux, lorsqu'on introduit ce mélange dans l'eau. Lorsqu'on fait dissoudre le chlorure de chaux dans l'eau, le même changement s'opère peu à peu, ac-

compagné aussi de dégagement de gaz-oxigène. Il s'ensuit que cette dissolution, si elle n'est pas promptement employée, ne tarde point à perdre sa propriété de blanchir; et même le chlorure sec éprouve, quoiqu'au bout d'un temps plus long, un semblable changement. M. Thomson annonce en avoir souvent conservé jusqu'à ce que sa faculté de blanchir eût été entièrement détruite.

Composition.

Ce chlorure, à l'état de pureté parfaite, et lorsque la chaux est saturée de chlore, est composé de deux atomes de chaux hydratée, et d'un atome de chlore, ou de

hydrate de chaux.	67,86
Chlore.	32,14
	100,00

Mais M. Thomson observe, qu'ayant souvent analysé ce chlorure récemment préparé, et par les meilleurs fabricans, il ne l'a jamais trouvé entièrement dépouillé d'un mélange d'hydro-chlorate de chaux, et aussi de chaux non combinée. Dans quelques cas, la proportion de l'eau dans la poudre est très-grande et s'élevant à près d'un tiers du tout. Celle, la plus considérable qu'il ait reconnue, de la chaux unie avec le chlore, était de 0,75 du tout, et la plus petite, de 0,375. La quantité de l'hydro-chlorate de chaux présent dans la poudre récemment préparée, est toujours faible; mais elle augmente en raison de ce que le chlorure a été plus ou moins longtemps gardé. La dernière analyse que M. Thomson annonce avoir faite de cette poudre, dans l'état où elle se trouve dans le commerce, lui a donné pour résultat, sur 100 parties, savoir :

Sous-bichlorure de chaux.	36,52
Hydro-chlorate de chaux.	18,50
Chaux, non-combinée.	28,05
Eau.	16,93
	100,00

Lorsqu'on dissout la poudre dans l'eau, la moitié de la chaux se sépare du chlore; de sorte que la dissolution contient un atome de chlore et un atome de chaux.

Mode d'analyse.

M. Thomson a adopté pour l'analyse de la poudre, et comme la plus exacte, la méthode suivante : il expose un poids donné de la poudre, à une chaleur d'environ 316 degrés centigrades, dans une cornue communiquant à une cuve pneumatique, et il reçoit le gaz oxigène dégagé dans une jarre graduée. La perte de poids, qu'éprouve la poudre, moins le poids de l'oxigène dégagé, donne le poids de l'eau contenue dans la poudre. Or, d'après l'oxigène dégagé, on peut déterminer très-exactement la quantité de chlore contenu dans la poudre ; car le chlore, en le supposant à l'état de gaz, est précisément d'un volume double de celui du gaz oxigène dégagé ; si l'on a obtenu 5 décimètres cubes de gaz oxigène, le volume du chlore existant dans la poudre sera d'un mètre cube.

Après avoir ajouté à la poudre, qui reste dans la cornue, de l'eau en très-grande quantité, on la laisse en digestion sur cette poudre, jusqu'à ce que l'hydro-chlorate de chaux ait été dissous en totalité. On fait ensuite passer, à travers cette dissolution, un courant de gaz acide carbonique, pour précipiter toute la chaux retenue en dissolution. Le carbonate de chaux, ainsi séparé est séché et pesé ; on prend alors le poids de la dissolution aqueuse d'hydro-chlorate de chaux, et en évaporant à siccité 100 parties, on juge, par le poids du résidu salin, de la totalité de l'hydro-chlorate de chaux contenu dans la liqueur ; et de cette quantité d'hydro-chlorate de chaux, on déduit très-facilement les proportions d'acide hydro-chlorique et de chaux qui existaient dans le sel. En comparant ensuite la quantité de chlore dans la poudre avec celle de l'acide hydro-chlorique dans le sel, on peut aisément déterminer s'il y avait de cet acide préexistant dans la poudre, avant l'application de la chaleur, et en quelle quantité.

Enfin, la portion de la chaux qui n'a pas été dissoute est pesée et analysée.

On reconnaît donc, avec exactitude, en opérant ainsi, les quantités de chlore, de chaux, d'acide hydro-chlorique et d'eau, qui existent dans la poudre, et par conséquent sa composition est réellement déterminée.

C'est M. Dalton qui prouva le premier, que, dans

cette poudre, le chlore était toujours combiné avec deux atomes de chaux.

M. Thomson annonce avoir formé des chlorures de baryte, de strontiane, de magnésie et de soude, par décomposition double du chlorure de chaux. Ces chlorures jouissent de propriétés analogues; mais comme ils n'ont encore paru susceptibles d'aucun emploi utile, il ne lui semble pas convenable d'entrer dans des détails particuliers sur leur nature. [1]

Chlorure de chaux.

Le chlore, ainsi qu'on l'a dit, refuse de se combiner directement avec la chaux vive et avec le marbre sec en poudre, ou du moins on ne parvient à opérer cette combinaison qu'avec une extrême difficulté, mais la chaux éteinte l'absorbe rapidement, et avec dégagement de beaucoup de chaleur; et comme on s'est assuré que dans la production de ce sel, de même que dans sa dissolution, il n'y a point d'acide chlorique formé, on en a dû conclure que tout le chlore agit seulement comme chlore.

Les blanchisseurs qui font usage des dissolutions de chlorure de chaux, en déterminent ordinairement la force par la quantité d'une dissolution donnée de sulfate d'indigo qu'elles peuvent décolorer. Mais il a été annoncé dernièrement (*Annals of philosophy*, nouv. série, 1. 72), que, d'après plusieurs expériences sur ce sujet, il y a lieu de penser qu'on ne peut avoir aucune confiance dans ce réactif; et cette opinion est fondée sur les résultats suivans d'essais faits sur des dissolutions de chlorure de chaux et de sulfate d'indigo.

Deux dissolutions de sulfate d'indigo et de chlorure de chaux furent préparées telles, qu'en mêlant deux mesures égales de chacune d'elles, la décoloration de la dissolution d'indigo était complète.

La dissolution de chlorure de chaux ayant ensuite été étendue avec différentes proportions d'eau, on reconnut, 1° qu'une mesure de dissolution de chlorure de chaux, étendue d'une mesure d'eau, produisit une liqueur qui décolora 1 mesure $\frac{1}{5}$ de dissolution d'indigo.

2° Qu'une mesure de la dissolution de chlorure de

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 238; *Annals of philosophy*, 1. 15.

chaux, et 3 mesures d'eau, donnèrent une liqueur qui décolora 1 mesure $\frac{1}{4}$ de la dissolution d'indigo.

3° Qu'une mesure de la dissolution de chlorure de chaux, étendue de 7 mesures d'eau, fournit un liquide qui détruisit la couleur de 1 mesure $\frac{1}{7}$ de la dissolution d'indigo.

Il paraît donc qu'on augmente beaucoup le pouvoir décolorant du chlorure de chaux, en l'étendant simplement d'eau.

M. Henry, ayant eu connaissance de ces faits, en donna l'explication, en supposant que, lorsqu'on emploie la dissolution de chlorure de chaux à l'état de concentration, l'acide sulfurique du sulfate d'indigo dégage une portion de chlore à l'état de gaz, qui alors ne produit point d'action sur la matière colorante; et par conséquent, il est bien évident que le pouvoir *blanchissant* du chlorure de chaux n'est pas indiqué d'une manière certaine par sa faculté de décolorer le sulfate d'indigo.[1]

M. Grouvelle, qui s'est occupé, en dernier lieu, de recherches sur les combinaisons du chlore avec les oxides, a reconnu, d'après les résultats de plusieurs expériences, que la composition du sous-chlorure de chaux est de

Hydrate de chaux,	1 atome.	936,92	67,914
Chlore.	1 atome.	442,65	32,086
		1379,57	100,000

Et celle du chlorure neutre dissous, de

Hydrate de chaux,	1 atome.	51,416
Chlore.	2 atomes.	48,584
		100,000

Le chlorure d'hydrate de baryte sec n'est pas, suivant M. Grouvelle, un sous-chlorure comme celui de chaux, mais un chlorure neutre, formé de deux atomes de chlore et d'un atome d'hydrate de baryte.

La composition de ce chlorure neutre est, d'après deux

[1] Annales de chimie et de physique, tome VII, page 381, et tome XVI, page 89.

analyses, dont les résultats se sont trouvés parfaitement d'accord entre eux, de

Hydrate de baryte, 1 atome.	2138,73	70,72
Chlore. . . . . , 2 atomes.	885,30	29,28
Chlorure. . . . 1 atome.	3024,03	100,00

M. Grouvelle ayant ensuite examiné les combinaisons du chlore avec un grand nombre d'autres oxides, annonce s'être assuré que le chlore est susceptible de se combiner avec les oxides de la plupart des métaux, qui ne sont pas réductibles par la chaleur; que parmi les oxides auxquels il ne se combine pas, les uns n'ont aucune action sur lui, excepté à une température très-élevée; les autres se sur-oxident, et perdent ainsi leur tendance à se combiner au chlore, comme ils perdent en partie leur affinité pour les acides. La dessiccation convertit les chlorures d'oxide en oxides, ou en chlorures métalliques et chlorates. Tous, le sous-chlorure de chaux excepté, ont une composition analogue à celle des chlorures métalliques, dans lesquels ils peuvent se transformer, en perdant l'oxigène de leur oxide.

M. Grouvelle a également reconnu que les chlorures sont susceptibles, en vertu de leur tendance à jouer le rôle d'acides, de se combiner avec les oxides métalliques, et aussi avec le gaz ammoniac sec; il croit devoir donner de préférence à ces combinaisons, le nom *d'oxido-chlorures*, comme désignant mieux l'union du chlorure et de l'oxide, que celui *d'oxi-chlorure*, indiquant plutôt une combinaison de chlorure, d'oxigène et du métal, sans spécifier dans quel ordre ces corps sont unis. Il appelle *ammonio-chlorures*, les combinaisons des chlorures avec le gaz ammoniac sec. Les résultats de ses expériences sur quelques-uns de ces oxido-chlorures et ammonio-chlorures, lui ont donné, pour la composition de ces espèces de combinaisons, savoir :

Pour l'oxido-chlorure de mercure,

5 atomes de deutoxide. . .	13658	79,942
1 atome de deuto-chlorure.	3416,9	20,058
	17074,9	100,000

Pour l'oxido-chlorure d'antimoine,

Protoxide d'antimoine, 7 atomes.	13390,3	82,01
Chlorure d'antimoine, 1 atome.	2940,85	17,99
	16331,15	100,00

Pour l'ammonio-chlorure de phosphore,

Chlorure de phosphore, 1 atome.	2613,31	63,502
Ammoniaque, 7 atomes.	1501,99	36,498
	4115,30	100,000

Pour l'ammonio-chlorure de mercure,

1 atome de deuto-chlorure. . .	3416,9	94,09
1 atome d'ammoniaque. . . .	214,57	5,91
	3631,47	100,00 [1]

De l'iode.

Composé triple d'iode, de carbone et d'hydrogène.

M. Faraday, préparateur au laboratoire de l'Institution royale de Londres, ayant exposé à l'action des rayons solaires, de l'iode et du gaz oléfiant (gaz hydrogéné percarboné), il se forma peu à peu, dans le mélange, des cristaux, sans qu'il parût exister, dans le vaisseau qui le contenait, de traces d'acide hydriodique; et par conséquent le gaz oléfiant n'avait pas été décomposé, mais simplement absorbé par l'iode. Ce composé triple, ainsi formé, fut purifié au moyen de la potasse, qui en sépara l'excès d'iode.

Le composé triple, dans son état de pureté, est incolore, cristallin, friable; sa saveur est douceâtre, et son odeur agréable. Il n'est pas conducteur de l'électricité. Chauffé, il commence par se fondre; il se sublime ensuite, sans se décomposer, et se condense en cristaux prismatiques, ou en tables. Une température élevée le décompose, en séparant l'iode; il brûle dans la flamme de l'alcool, et donne pour produits de l'iode et de l'acide hy-

[1] Annales de chimie et de physique, tomes XVII, page 37, et XVIII, page 46.

driodique. Ce composé est soluble dans l'alcool et dans l'éther; mais il ne se dissout ni dans l'eau, ni dans les alcalis, ni dans les acides. Aux températures de 65 à 93 degrés centigrades, il est décomposé par l'acide sulfurique, effet probablement dû à la chaleur seulement. M. Faraday, qui considère ce composé comme ayant de l'analogie avec l'éther chlorique, propose de l'appeler *hydrocarbure d'iode.*[1]

M. Grouvelle, qui a aussi fait des recherches sur les combinaisons de l'iode avec les oxides, annonce s'être assuré que l'iode, à la température d'environ 200° centigrades et au-dessous, s'unit à tous les oxides alcalins hydratés ou anhydres, et forme ainsi des composés qu'il est très-difficile de saturer d'iode. La composition des iodures de chaux et de strontiane lui a paru être, d'après plusieurs analyses, un atome d'oxide et un atome d'iode. L'iode s'unit très-bien à la potasse pure et sèche. L'iodure est alors susceptible de se dissoudre dans l'eau, et d'être évaporé à siccité, sans se décomposer. M. Grouvelle a trouvé que les iodures de strontiane et d'hydrate de strontiane sont, comme ceux de chaux, décomposés par une chaleur rouge intense, et qu'on obtient alors des alcalis caustiques. L'oxide de zinc, chauffé à environ 200° centigrades, avec l'iode, conservant la propriété de donner beaucoup d'iode par les acides, M. Grouvelle est disposé à considérer comme probable la combinaison de l'iode avec l'oxide de zinc. L'action de l'iode sur l'oxide rouge de mercure n'a pas, suivant M. Grouvelle, d'analogie avec celle qu'il exerce sur le chlore.[2]

COMBUSTIBLES SIMPLES ACCIDIFIABLES.

Du carbone.

Acide carbonique et oxide de carbone.

Si l'on suppose que le carbone, dans les gaz acide carbonique et oxide de carbone, est à l'état gazeux, et si la pesanteur spécifique du carbone est déterminée à 0,416, alors l'acide carbonique est un composé d'un volume de gaz oxigène, et d'un volume de carbone, condensés dans

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVIII, page 50.
[2] Annales de chimie et de physique, tome XVII, page 52.

un volume; et l'oxide de carbone consiste dans un demi-volume de gaz oxigène et un volume de carbone, condensés dans un volume. Ce fut cette considération qui porta M. Thomson à fixer les pesanteurs spécifiques de l'acide carbonique et de l'oxide de carbone à 1,527 et 0,972, nombres qu'on obtient en ajoutant respectivement 0,416 à 1,111, et à la moitié de 0,111.

Oxide hydro-carbonique.

Lorsqu'après avoir réduit en poudre le sel appelé ordinairement *prussiate triple de potasse* (hydro-cyanate de potasse ferrugineux) on le met dans une cornue avec une quantité d'acide sulfurique concentré suffisante pour mettre le tout à l'état de pâte, il se dégage de la chaleur; et si la cornue est chauffée à la lampe, il y a production d'effervescence et développement d'un gaz particulier, dont je déterminai, dit M. Thomson, le premier la nature en 1817. Ce gaz, qu'on peut distinguer par le nom *d'oxide hydro-carbonique*, est incolore et susceptible d'être reçu sur l'eau. Il a une odeur particulière, qui n'est ni désagréable, ni forte, mais qu'on ne peut comparer à aucune autre. Sa saveur est aromatique et laisse dans la bouche une impression de chaleur qui continue pendant quelque temps. Ce gaz n'éprouve aucune altération, lorsqu'on le laisse sur l'eau, exposé à la lumière. Sa pesanteur spécifique est 0,993, celle de l'air étant 1,000. Il s'ensuit qu'un décimètre cube de ce gaz, à la température de 15°,55 centigrades, et sous la pression barométrique de 760 millimètres de mercure, pèse 1,196 gram. Il brûle aisément lorsqu'on le met en contact avec la flamme d'une bougie, et la flamme que sa combustion produit est d'un bleu foncé. Trois volumes de ce gaz exigent, pour leur combustion complète, deux volumes de gaz oxigène. Le résidu, après la détonation, est de trois volumes, consistant, en totalité, en gaz acide carbonique; ainsi, par la combustion, tout le gaz oxigène disparaît, et le volume du gaz inflammable n'éprouve aucune altération; mais il est entièrement converti en gaz acide carbonique. Le gaz inflammable doit donc être un composé de

3 volumes oxide de carbone, } condensés en
1 volume gaz hydrogène, } trois volumes.

Un volume et demi de l'oxigène est employé à convertir l'oxide de carbone en acide carbonique; le demi-volume d'oxigène restant se combine avec le volume d'hydrogène, et le convertit en eau.[1]

On ne connaissait pas encore de combinaison du carbone, avec le chlore, lorsque, tout récemment, M. Faraday, préparateur au laboratoire de l'institution royale de Londres, est parvenu à l'opérer. Chlorure de carbone.

En exposant à l'action des rayons solaires un mélange de chlore et d'éther chlorique, l'action du chlore sur l'éther donna lieu à une production de gaz hydro-chlorique, qui chassé à mesure par l'introduction dans le mélange de nouvelles quantités de chlore, laissa une substance cristallisée, que M. Faraday annonce être le perchlorure de carbone. Perchlorure.

Ce perchlorure, mis à l'état de pureté par des procédés que M. Faraday indique, est transparent et incolore; son odeur, qui a quelque chose d'aromatique, ressemble assez à celle du camphre. Il n'a que très-peu de saveur; il est environ deux fois plus pesant que l'eau. On le réduit facilement en poudre, et, dans cet état, il a l'apparence du sucre blanc, avec à peu près sa dureté. Il n'est pas conducteur de l'électricité à la température ordinaire, il se volatilise lentement; à celle de 71° centigrades il se fond, et à 83° il entre en ébullition. Il ne se dissout pas dans l'eau, mais l'alcool et l'éther le dissolvent bien. Il est difficilement combustible par les moyens ordinaires; mais chauffé dans le gaz oxigène, il brûle, et souvent avec éclat; la chaleur le sublime sous forme cristalline, et sa dissolution éthérée fournit des cristaux qui affectent la forme de tables quadrangulaires.

Cette substance cristallisée, ou perchlorure de carbone, paraît consister en

3 atomes, chlore . . .	132,78 . . .	89,82
2 atomes, carbone . .	15,06 . . .	10,18
	147,84 . . .	100,00

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 232, *ex Annals of philosophy*, XII. 103.

Ce perchlorure de carbone se dissout dans les huiles fixes et volatiles. L'oxigène agit sur lui à une température rouge; mais à une température plus basse, il ne lui fait éprouver aucune action. Sa vapeur mêlée avec le gaz oxigène n'est point enflammée par l'étincelle électrique, même à la chaleur de 93° centigrades. L'hydrogène, dans les mêmes circonstances, ne produit non plus sur ce corps aucun changement; mais en faisant passer ces mélanges à travers un tube rouge de feu, la décomposition a lieu; il se produit de l'acide hydrochlorique et un dépôt de charbon. Le perchlorure de carbone ne paraît pas être altéré par l'acide sulfurique; presque tous les métaux le décomposent à une haute température. Le potassium, chauffé dans sa vapeur, y brûle avec éclat, et le fer, l'étain, etc. se combinent avec le chlore et précipitent du charbon.

Proto-chlorure.

Lorsqu'on fait passer le perchlorure de carbone à travers un tube chauffé au rouge il est décomposé. Il y a dégagement de chlore, en formation de proto-chlorure, qu'on peut obtenir aussi en chauffant au rouge obscur le perchlorure. Celui-ci se sublime d'abord, mais ensuite il abandonne du chlore, et il se produit du proto-chlorure à l'état de vapeur, qui se condense en un fluide, que par des distillations répétées, on finit par obtenir parfaitement limpide et incolore.

Le proto-chlorure de carbone n'est pas conducteur de l'électricité, sa pesanteur spécifique est 1,5526, son pouvoir réfringent est à peu près le même que celui du camphre. Il n'est susceptible de combustion que dans la flamme de l'alcool, et produit, en y brûlant, de l'acide hydrochlorique et une flamme d'un jaune vif.

Ce chlorure reste fluide à environ 8° centigrades au-dessous de zéro. Chauffé sous l'eau à 24° centigrades il se réduit en vapeur, et conserve cet état tant que la température est maintenue à ce terme. Lorsqu'on l'expose à une chaleur violente, en le faisant passer à travers un tube de verre rempli de fragmens de cristal de roche, il est en partie décomposé, et il se dépose du charbon dans le tube; mais M. Faraday n'a pas déterminé, si c'est à la chaleur seule, ou à l'action du proto-chlorure sur le verre, que sa décomposition

partielle doit être attribuée; de même que le perchlorure, le proto-chlorure de carbone ne s'unit point à l'eau, et il se combine avec l'alcool et l'éther. Ces dissolutions brûlent avec une flamme verdâtre, en répandant des fumées sensibles d'acide hydro-chlorique. Ce proto-chlorure se dissout aussi dans les huiles fixes et volatiles. L'action des métaux sur lui est à peu près la même que sur les perchlorures en général; celle du potassium ne s'exerce que très-lentement à la température ordinaire; mais ce métal étant chauffé dans la vapeur du proto-chlorure de carbone, il y a combustion brillante et dépôt de charbon. Les acides nitrique, hydro-chlorique, ou sulfurique n'agissent point sur ce chlorure, et il ne se combine pas avec les dissolutions alcalines. L'hydrogène, qu'on fait passer à travers sa vapeur à une haute température, se décompose; il se produit du carbone et de l'acide hydro-chlorique.

Le proto-chlorure de carbone paraît formé d'un atome de chacun de ses ingrédiens, ou de

Chlore.	44,24	85,50
Carbone.	7,53	14,50
	[1] 51,77	100,00,00

Du phosphore.

Acide phosphorique.

Les chimistes ne sont pas d'accord sur la proportion d'oxigène qui s'unit avec le phosphore et le convertit en acide phosphorique, M. Thomson annonce donc qu'il va présenter aussi succinctement que possible, l'exposé des différentes opinions, jusqu'à présent émises, relativement à la composition de cet acide, ainsi que des expériences sur lesquelles ces opinions se fondent.

1° Il trouva que le gaz hydrogène phosphoré est un composé de

1 volume gaz hydrogène,
1 volume phosphore,

condensés dans un volume. Ce gaz exige pour sa combustion complète 1,5 volume de gaz oxigène; et, dans ce cas,

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 85.

il est converti en acide phosphorique et en eau. Or, un volume de phosphore pèse 0,8328 = 0,0694 × 12, ce qui est la même chose que 1 atome de phosphore + 2 atomes oxigène, ou

Phosphore . . .	1,5 . . .	3 . . .	100
Oxigène.	2 . . .	4 . . .	133,33

Cette détermination est confirmée par une suite d'expériences publiées par sir Humphry Davy dans les Transactions philosophiques pour 1813; il trouva qu'en mettant du phosphore dans un tube de verre étroit, et en le chauffant dans une cornue remplie d'oxigène, 100 parties de phosphore absorbaient 135 parties en poids d'oxigène, et devenaient acide phosphorique. Or, M. Thomson considère cette expérience comme coïncidant presque avec son précédent résultat. Sir Davy en conclut, ainsi qu'il l'avait déjà établi lui-même, que l'acide phosphorique est un composé de 1 atome phosphore et 2 atomes oxigène; et que le poids d'un atome de cet acide est 3,5.

De plus, la proportion d'oxigène qui s'unit avec 100 de phosphore, pour le convertir en acide phosphorique, est d'après les expériences de MM. Berzélius et Dulong, et de Lavoisier, savoir :

Berzélius.	128,17
Dulong.	124,80
Lavoisier.	154,»

Or le terme moyen de ces trois nombres, est 135, 66, qui s'accorde presque exactement avec le résultat des expériences de sir H. Davy, et peut être, par conséquent, considéré comme le confirmant. Ces faits portent M. Thomson à avoir confiance dans l'exactitude de ses expériences primitives, et à considérer l'acide phosphorique comme étant un composé de

1 atome phosphore	= 1,5,	ou 3,	ou 100
2 atomes oxigène	= 2,0	ou 4,	ou 133,66

D'après les analyses par M. Berzélius, et les miennes, dit M. Thomson, des phosphates de plomb, de baryte,

de soude et de chaux, le poids d'un atome d'acide phosphorique serait 4,5. Mais si le poids d'un atome de phosphore est 1,5 et celui d'un atome d'acide phosphorique 4,5, il s'ensuit que cet acide doit être un composé de 1 atome phosphore et 3 atomes oxigène, ou de

Phosphore. .	1,5,	ou. . . .	100
Oxigène. . .	3,0,	ou. . . .	200

Proportion d'oxigène plus grande que celle jusqu'à présent trouvée par l'expérience, capable de s'unir avec le phosphore.

Si l'on essayait de lever cette difficulté en augmentant le poids d'un atome de phosphore, et en l'élevant à 2, ainsi que l'analyse des phosphates semble l'indiquer, on trouverait que le rapport de 2 à 2,5 n'est pas tout-à-fait le même que celui de 1,5 à 2. Si le poids d'un atome de phosphore était considéré comme 2, alors l'acide phosphorique devrait être un composé de

1 atome phosphore = 2,0.
2,5 atomes oxigène = 2,5.

Ces nombres coïncident presque avec l'analyse des phosphates. Ils ont, en conséquence été adoptés par M. Berzélius; mais ils ne s'accordent pas avec l'analyse, par M. Thomson, du gaz hydrogène phosphoré. Il est donc disposé à soupçonner quelque inexactitude systématique dans l'analyse des phosphates. Ceux qu'analysa M. Berzélius n'étaient probablement pas des combinaisons d'un atome d'acide et d'un atome de base; mais ils devaient contenir un peu plus d'un atome d'acide. [1]

Acide phosphoreux.

Lorsqu'on mêle un volume d'hydrogène phosphoré avec un volume oxigène, il se produit une détonation, et toute la matière gazeuse disparaît, étant convertie en acide phosphoreux et en eau. Or l'hydrogène phosphoré est un composé de

1 volume hydrogène,
1 volume phosphore,

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 260, *Annals of philosophy* VIII. 87; Annales de chimie et de physique, tome II, pag. 217.

condensés en un volume ; d'où il suit évidemment qu'un demi-volume d'oxigène s'unit avec l'hydrogène, et le convertit en eau ; tandis que l'autre demi-volume de l'oxigène, s'unissant avec le phosphore, le change en acide phosphoreux. Cet acide consiste, par conséquent, dans un atome de phosphore, plus un atome d'oxigène, ou, en

Phosphore. .	1,5. .	3 ou	100
Oxigène. . .	1,0. .	2 ou,	66,66

L'analyse de l'acide phosphoreux donnée par sir Humphry Davy, dans son Mémoire publié dans les Transactions philosophiques pour 1818, concorde exactement avec celle de M. Thomson, et sert à la confirmer. Dans cette manière de voir sur le sujet, l'oxigène, dans l'acide phosphoreux, est juste la moitié de celui contenu dans l'acide phosphorique, en supposant, le même, le poids du phosphore dans l'un et l'autre acide ; et le poids d'un atome d'acide phosphoreux est 2,5.

M. Berzélius fit dissoudre 2,211 parties de protochlorure de phosphore dans l'eau, au moyen de laquelle il est bien connu que, par la décomposition d'une portion de ce liquide, ses deux principes constituans sont respectivement convertis en acide hydro-chlorique, et en acide phosphoreux. M. Berzélius précipita alors l'acide hydro-chlorique par le nitrate d'argent. Le chlorure d'argent fondu pesait 6,915 parties. Or, la quantité de chlore dans 6,915 de chlorure d'argent s'élève à 1,705, et cette quantité exigera, pour devenir acide hydro-chlorique, 0,0474 d'hydrogène. Cet hydrogène est fourni par la décomposition de l'eau, et l'oxigène de cette eau décomposée pesant 0,3792 de parties, doit s'être uni avec le phosphore, et l'avoir converti en acide phosphoreux. Mais le phosphore, dans le chlorure, était 2,211 — 1,705 = 0,506. D'après cette expérience, l'acide phosphoreux est composé de

Phosphore.	506, ou	100
Oxigène.	379,2 ou	74,940

Cette expérience donne une proportion plus grande d'oxigène dans l'acide phosphoreux, que celle de

M. Thomson ou celles de sir Humphry Davy. Si, en considérant le poids d'un atome de phosphore comme 2, nous faisons le calcul d'après l'analyse de M. Berzélius, la composition de l'acide phosphoreux sera

1 atome phosphore	= 2	100
1,5 atome oxigène	= 1,5 . . .	75

C'est la manière de voir sur la composition de cet acide que M. Berzélius adopte. D'après elle, le poids d'un atome d'acide phosphoreux est 3,5, et les quantités d'oxigène, dans les acides phosphoreux et phosphorique, sont entre elles comme 1,5 : 2,3, ou 3 : 5.

Les deux phosphites, ou combinaisons d'acide phosphoreux et de bases, analysés par M. Berzélius, servent à fortifier son opinion sur la constitution de l'acide phosphoreux. Ce savant trouva que les parties constituantes du phosphite de plomb, et de phosphite de baryte, sont, comme suit, savoir :

Phosphite de plomb.			Phosphite de baryte.		
Acide	19,78.	. 3,451	Acide,	24,31.	. 3,525
Base	80,22.	. 14	Base	67,24.	. 9,750
	100,00				

On voit que le poids d'un atome d'acide phosphoreux, est, par le premier sel, 3,451, et, par le second, 3,525. Or, le terme moyen de ces deux nombres est 3,488, ce qui se rapproche de très-près de 3,5, poids du même atome, suivant l'analyse de l'acide lui-même.

Il faut convenir que le cas d'évidence annoncé par M. Berzélius, se présente sous un aspect très-imposant; mais M. Thomson regarde son mode de détermination de la composition de l'acide phosphoreux comme tellement plus simple que le sien, que la chance d'exactitude en sa faveur, s'en accroît beaucoup. Cependant, comme l'analyse de l'acide phosphoreux par M. Dulong coïncide, presque exactement, avec celle de M. Berzélius, le sujet ne doit pas être considéré comme définitivement établi. M. Dulong trouva que la composition de l'acide phosphoreux est de

Phosphore.	100
Oxigène.	74,88

nombres qui s'accordent presque avec ceux de M. Berzélius. [1]

Acide hypo-phosphoreux.

Pour parvenir à déterminer la composition de l'acide hypo-phosphoreux, M. Dulong crut devoir transformer cet acide en acide phosphorique par l'action du chlore; et il trouva, d'après la quantité d'acide phosphorique formé, et la proportion de chlore nécessaire pour opérer ce changement, que l'acide hypo-phosphoreux devait être composé de

Phosphore.	100
Oxigène. . . . . , ...	36,3

M. Dulong convient que cette analyse est trop compliquée pour offrir des résultats d'une exactitude parfaite. Si nous considérions cette composition comme étant :

Phosphore.	100
Oxigène.	33,33

ce qui ne diffère pas beaucoup de la détermination de M. Dulong; et, si nous reconnaissons que l'atome de phosphore est, 1,5, alors il est évident que l'acide hypo-phosphoreux est un composé d'un atome d'oxigène + deux atomes de phosphore; car

2 atomes phosphore	= 3,00,	ou 100
1 atome oxigène	= 1,	ou 33,33

cependant M. Dulong considère que la composition de l'acide hypo-phosphoreux, qui se rapproche le plus de la vérité, est celle de

phosphore	100
oxigène	37,44

ce qui est juste la moitié de l'oxigène existant dans l'acide phosphoreux, uni au même poids de phosphore; mais il n'est pas facile de faire concorder cette détermination avec la théorie atomique. Si nous considérons un atome de phosphore comme 2, ainsi que M. Berzélius

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, pag. 263; Annales de chimie et de physique, tome II, pag. 225.

l'a en effet établi; et, si nous reconnaissons avec ce savant, que l'acide phosphoreux est un composé d'un atome de phosphore et d'un atome et demi d'oxigène, alors cet acide consistera en

phosphore	100
oxigène	75

La moitié de 75 est de 37,5, ce qui représente le poids de l'oxigène, constituant, suivant la manière de voir de M. Dulong, l'acide hypo-phosphoreux, par son union avec 100 de phosphore; mais

100 : 37,5 :: 2 : 0,75

donc, en considérant ainsi la composition de l'acide hypophosphoreux, elle consisterait dans un atome de phosphore et trois quarts d'atome d'oxigène. Or, ce mode de fraction de l'oxigène, non-seulement en moitiés, mais en quarts, est, pour ne rien dire de plus, très-peu satisfaisant. Nous pourrions, à la vérité, rendre les nombres un peu moins compliqués, en considérant l'acide hypophosphoreux comme un composé de deux atomes de phosphore et d'un atome et demi d'oxigène; car

2 atomes phosphore	= 4	ou	100
1,5 atome oxigène	= 1,5		37,5

Mais la manière dont j'ai annoncé, dit M. Thomson, que je considerais la constitution de cet acide, dans la supposition qu'un atome de phosphore pèse 1,5, me paraît beaucoup plus satisfaisante et plus simple que celle de M. Dulong. Il est néanmoins évidemment indispensable qu'il soit fait de nouvelles recherches à ce sujet, avant qu'on puisse considérer la discussion comme terminée. [1]

La publication, dans les Transactions philosophiques pour 1818, d'un Mémoire de sir Humphry Davy, *sur la composition des acides du phosphore*, et par conséquent postérieurement aux travaux, sur le même sujet, Observations.

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 265; Annales de chimie et de physique, tome II, page 141.

de MM. Dulong et Berzélius, a donné lieu à ce dernier chimiste de réclamer contre l'assertion de sir Davy, qui cherche à établir, dans le mémoire dont il s'agit, que 100 parties de phosphore se combinent avec 33,63,67,25 et 134,5 parties d'oxigène, pour produire les trois acides de ce corps, nombres qui sont entre eux comme 1, 2 et 4. M. Berzélius fait observer que les expériences de M. Dulong, qui concordent avec les siennes, indiquaient que l'oxigène de l'acide phosphorique est à celui de l'acide phosphoreux comme 5 est à 3, et non ainsi que sir Davy annonce l'avoir trouvé, comme 4 est à 2. Relativement à ce que sir Davy prétend que les expériences de M. Dulong étaient trop compliquées pour pouvoir donner des résultats exacts, M. Berzélius remarque qu'il y a eu lieu de reconnaître que, dans les expériences dont le résultat doit servir à *corriger et fixer*, suivant sir Davy, le poids de l'atome d'une substance quelconque, les meilleures méthodes analytiques sont celles dans lesquelles les erreurs inévitables n'affectent pas les millièmes du nombre qu'il s'agit de déterminer, et que c'est là le terme au delà duquel il n'est jamais parvenu, si ce n'est accidentellement. Mais lorsque, malgré les soins nécessaires, les résultats diffèrent de 1 pour 100, on ne peut les considérer que comme une approximation. Or, dans trois expériences de sir Davy, expériences qu'il donne comme *les plus exactes qu'il ait jamais faites*, la quantité d'oxigène, absorbée par 100 parties de phosphore, a varié de 131 à 137,2 parties, ce qui ne fait pas moins de 1,66 pour 100 du poids de l'acide phosphorique; et dans celles des expériences de sir Davy, exécutées sous sa surveillance, par son préparateur M. Faraday, les différences sont encore tellement fortes, qu'on ne peut pas même en considérer les résultats comme des approximations. M. Berzélius annonce, en conséquence, qu'il ne lui est pas possible d'adopter l'opinion de sir Davy, et qu'en considérant l'accord qui existe en général entre les expériences de M. Dulong et les siennes, on doit d'autant plus considérer comme fondée la manière de voir qui leur est commune sur la composition des acides phosphoriques et phosphoreux, qu'aucun d'eux n'avait connaissance du travail de l'autre sur cette matière, et qu'il est trop peu

vraisemblable que le hasard fasse commettre la même erreur, surtout lorsque cette erreur fait exception à des lois générales.[1]

Si nous considérions le chlorure du phosphore, comme un composé d'un atome de chlore et d'un atome de phosphore, il s'ensuivrait, d'après la composition du proto-chlorure, determinée par sir Humphry Davy, au moyen du nitrate d'argent, qu'un atome de phosphore est seulement 1,26, nombre qui ne s'accorde, dit M. Thomson, ni avec le poids d'un atome de phosphore, tel que l'a donné M. Berzélius, ni avec celui établi par lui. Proto-chlorure de phosphore.

M. Berzélius a également donné une analyse du proto-chlorure de phosphore, à laquelle il avait procédé précisément de la même manière que sir Humphry Davy; il trouva la composition de ce corps ainsi qu'il suit :

chlore	1,705,	ou	4,5
phosphore	0,506		1,335
	2,211		

Cette analyse donne aussi le poids d'un atome de phosphore trop faible, quoiqu'il se rapproche de plus près de celui 1,5, que M. Thomson considère comme le nombre véritable, que celui 1,26 résultant de l'analyse de sir Humphry Davy. Au total, on ne peut guère hésiter à considérer le proto-chlorure de phosphore comme un composé d'un atome de chlore =4,5+un atome de phosphore=1,5. Il s'ensuit que sa composition réelle doit être

1 atome chlore=4,5	ou	100
1 atome phosphore=1,5		33,33

Cette composition est, d'après les analyses de sir Humphry Davy et de M. Berzélius, ainsi qu'il suit :

Davy. . . . 100 chlore+28,07 phosphore.
Berzélius. . 100 chlore+26,67 phosphore.

Or, je n'ai pas dû considérer, dit M. Thomson, cette déviation du résultat théorétique comme très-surpre-

[1] Annales de chimie et de physique, tome X, page 278.

nante, eu égard à la difficulté des analyses, et la petite échelle sur laquelle ces analyses furent faites. [1]

Perchlorure de phosphore.

L'analyse du perchlorure de phosphore, par sir Humphry Davy, est confirmée par celle de M. Dulong, qui le trouva composé de

phosphore	1	ou	1,5
chlore . .	5,491.		8,2365

Cette proportion de chlore est plus petite que celle que trouva sir Davy; mais le terme moyen des deux analyses nous donne, pour la composition du perchlorure,

phosphore	1,5
chlore	9,1182

Or, ce résultat coïncide presque avec les nombres indiqués par la théorie, et il donne beaucoup de force à l'opinion que 1,5 est le poids d'un atome de phosphore. [2]

Du Soufre.

Acide hypo-sulfureux.

Suivant M. Thomson, une observation de M. Higgins de Dublin, si on y avait fait attention, aurait dû porter, il y a long-temps, les chimistes à en induire l'existence de l'acide hypo-sulfureux. M. Higgins trouva que l'acide sulfureux a la propriété de dissoudre le fer, sans donner lieu à aucun dégagement de gaz (Higgins's comparative View, p. 49); mais il ne détermina pas la nature de la dissolution ainsi obtenue; c'est à quoi réussit M. Berthollet, en 1789. Ce savant reconnut qu'il existait, dans cette dissolution, une proportion de soufre plus grande que n'en contient l'acide sulfureux (Annales de chimie, tome 2, pages 58 et 59), il en donna pour raison, que le fer est oxidé aux dépens de l'acide sulfureux, dont une portion, en cédant son oxigène au fer, est convertie en soufre; le soufre se combine avec le sulfite de fer formé, et il en résulte une espèce particulière de sels, auxquels les chimistes français donnèrent le nom de *sulfites sulfurés*. M. Ber-

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 269.
[2] 6e édition, vol. I, page 270.

thollet et Fourcroy, et M. Vauquelin, décrivirent quelques autres de ces sels; et, en 1813, M. Gay-Lussac annonça (Annales de chimie, tome LXXXV, pag. 199) quelques faits nouveaux concernant ces sels. Ce fut dans l'année 1815, dit M. Thomson, que j'examinai le premier avec une attention plus particulière la dissolution du fer dans l'acide sulfureux; je conclus des phénomènes qui se présentèrent, que cet acide abandonnait la moitié de son oxigène au fer, et le convertissait en protoxide de fer. Je reconnus que le sel formé était à l'état neutre; mais, lorsque j'essayais de séparer l'acide, ce sel était aussitôt décomposé en acide sulfureux et en soufre. J'en tirai l'induction, qu'il contenait un acide particulier du soufre, consistant dans de l'acide sulfureux privé de la moitié de son oxigène, et composé, par conséquent, d'un atome de soufre, + un atome d'oxigène. Je donnai, à cet acide nouveau, le nom d'*acide hypo-sulfureux*, et j'annonçai l'existence de cet acide, dans la cinquième édition de mon Système de chimie, publié en 1817. Dans cette édition, l'existence de l'acide est établie, et les sels, précédemment décrits dans les ouvrages sous le nom de *sulfites sulfurés*, sont appelés *hypo-sulfites*. Depuis cette époque M. I.-F.-W. Herschell, a publié (Édin. philos., journal, 1, 8 et 396, et 11, 164) une suite d'expériences, très-intéressantes et faites avec beaucoup de soin, sur cet acide. Il nous a indiqué diverses méthodes de préparation des hypo-sulfites; il a décrit les propriétés de ces sels, et reconnu leur composition. Mais les essais, que fit M. Herschell, dans ses recherches sur ces sels, pour en isoler l'acide, ne lui réussirent pas complétement. Lorsqu'on verse de l'acide sulfurique, en léger excès, dans une dissolution étendue d'hypo-sulfite de strontiane, cette base est précipitée en totalité, et la liqueur filtrée consiste principalement dans une dissolution aqueuse d'acide hypo-sulfureux. Ce liquide est transparent et incolore, il n'a point d'odeur, et sa saveur est acide, astringente et très-amère. Après quelques heures de repos, l'acide éprouve une décomposition spontanée, le liquide devient laiteux, il se dépose du soufre, et il reste en dissolution de l'acide sulfureux. Il suit de là, que l'acide hypo-sulfureux n'est pas permanent dans son état de combinaison avec une

base. J'eus la satisfaction de reconnaître, en 1815, dit Thomson, que l'acide hypo-sulfureux est un composé d'un atome de

soufre + un atome oxigène, ou de soufre	2, ou,	100
Oxigène.	1, ««	50

e tcette déterminaison a été confirmée par les expériences plus récentes de M. Herschell.

Acide hypo-sulfurique.

MM. Gay-Lussac et Welter ont découvert dernièrement un quatrième acide du soufre, auquel ils ont donné le nom d'*acide hypo-sulfurique*. Cet acide est formé par l'union d'une molécule intégrante d'*acide sulfurique* avec une molécule intégrante d'*acide sulfureux*, où, ce qui revient au même, de deux atomes de soufre, et de cinq atomes d'oxigène.

En faisant passer un courant de gaz acide sulfureux, dans de l'eau, tenant du péroxide de manganèse en suspension, M. Welter remarqua qu'il se formait un sel neutre, qu'il invita M. Gay-Lussac à examiner. Ce fut en procédant ensemble à l'examen de ce sel, qu'ils découvrirent l'acide nouveau. Par la combinaison qui s'opère, de l'acide sulfureux avec l'oxide de manganèse tenu en suspension dans l'eau, on obtient une dissolution parfaitement neutre, consistant dans un mélange de sulfate et d'hypo-sulfate de manganèse. En versant, dans cette dissolution, de l'eau de baryte, jusqu'à excès, le sulfate de manganèse est précipité en totalité, et l'hypo-sulfate, transformé en hypo-sulfate de baryte, reste en dissolution ; on fait passer ensuite dans la dissolution un courant d'acide carbonique, pour saturer et précipiter l'excès de baryte. En évaporant la liqueur, on obtient l'hypo-sulfate de baryte cristallisé. Après avoir dissous les cristaux dans l'eau, on précipite la baryte, au moyen d'acide sulfurique introduit jusqu'à saturation parfaite dans cette dissolution, où il ne reste plus alors que l'acide hypo-sulfurique. Cet acide est incolore, et sans odeur. On peut le concentrer jusqu'à ce qu'il soit parvenu à la densité de 1,347, mais pas au delà ; car alors il commence à se décomposer par l'action de la chaleur ; il s'en exhale de l'acide sulfureux, et dans ce cas, il se produit de l'acide sulfurique.

Ainsi, nous avons quatre acides composés de soufre et d'oxigène, dont la constitution est, ainsi qu'il suit, savoir :

	soufre.	oxigène.	soufre, oxigène.
1. acide hypo-sulfureux	1 atome +	1 atome.	ou 100 + 50
2. acide sulfureux. . .	1 . . . +	2	100 + 100
3. acide sulfurique. . .	1 . . . +	3	100 + 150
4. acide hypo-sulfurique	2 . . . +	5	100 + 125

Le poids des atomes de ces acides sont les suivans :

	Poids d'atomes.
Acide hypo-sulfureux.	3
Acide sulfureux.	4
Acide sulfurique.	5
Acide hypo-sulfurique.	9

C'est un fait très-remarquable, que les acides sulfurique et sulfureux puissent s'unir ensemble, et former un composé acide qui ne soit pas capable de neutraliser plus d'une base que l'un ou l'autre acide séparément. [1]

Acide hydro-sulfureux.

Lorsqu'on mêle ensemble sur le mercure trois volumes de gaz hydrogène sulfuré, et trois volumes de gaz acide sulfureux, l'un et l'autre de ces gaz parfaitement secs, ils se condensent, en s'unissant, dans un corps solide, qui adhère fortement aux parois du vase dans lequel s'est fait le mélange. C'est à ce composé, qui possède des propriétés acides, qu'on peut donner le nom d'*acide hydro-sulfureux.*

L'action des deux gaz l'un sur l'autre fut observée pour la première fois, par M. Kirwan, et annoncée par lui dans les Transactions philosophiques pour 1786, p. 113. Elle fut indiquée par ceux qui écrivirent depuis, mais il n'avait pas encore été fait de recherches exactes sur cette action des deux gaz, lorsque M. Thomson entreprit, dans l'automne de 1818, une suite d'expériences sur ce sujet. On avait généralement pensé que ces gaz se décomposaient réciproquement, et que les produits étaient de l'eau et du soufre. Si cette opinion avait été bien fondée, il est évident que ces gaz se condenseraient l'un

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 284; Annales de chimie et de physique, tome X, page 312; *Annals of philosophy*, XIV, 352.

l'autre, lorsqu'on les mêlerait dans les proportions de deux volumes de gaz hydrogène sulfuré et d'un volume d'acide sulfureux; car, en substituant les atomes aux volumes, ce qui peut se faire sans commettre d'erreur, nous avons :

		atomes.	atomes.
2 atomes gaz hydrogène sulfuré, composé de		2 soufre	2 hydr.
1 atome acide sulfureux, composé de		1	+2 oxig.

de sorte que les deux gaz peuvent se résoudre en trois atomes de soufre, pesant 6, et deux atomes d'eau, pesant 2,25.

Mais, comme les deux gaz se combinent réellement dans les proportions de trois volumes de gaz hydrogène sulfuré et deux volumes d'acide sulfureux, il est évident qu'ils ne peuvent se résoudre en soufre et en eau, sans qu'il n'y ait un résidu de gaz oxigène, s'élevant au quart du volume de tout le gaz acide sulfureux employé. Or, lorsque les gaz sont mêlés dans les proportions requises, et dans un état suffisant de pureté, il n'y a aucun résidu gazeux quelconque.

L'acide hydro-sulfureux est un corps solide de couleur orangé; sa saveur est acide et chaude, et elle laisse dans la bouche une impression qui se fait sentir pendant très-long-temps. Lorsqu'il est sec, il ne fait éprouver aucun changement à la couleur du papier de tournesol; mais si on humecte ce papier si peu que ce soit, il le teint en rouge. L'eau, l'alcool, les acides nitrique et sulfurique, décomposent l'acide hydro-sulfureux, et en séparent du soufre. Lorsqu'on agite cette substance dans de l'eau de baryte, il ne se manifeste pas immédiatement de précipité; ce qui est une preuve suffisante qu'elle ne contient ni acide sulfureux ni acide sulfurique. Elle exige pour se fondre un plus grand degré de chaleur que le soufre; si l'on continue de chauffer, une effervescence a lieu, et il reste une certaine quantité de soufre pur. M. Thomson ne put réussir à lui faire contracter d'union avec les bases par voie sèche, et dès qu'il y a présence d'humidité, cette substance est toujours décomposée. On voit, d'après les élémens employés pour former l'acide hydro-sulfureux, que cet acide est composé de

5 Atomes soufre = 10
4 Atomes oxigène = 4
3 Atomes hydrogène = 0,375

14,375

de sorte que le poids d'une de ses molécules intégrantes est 14,375.[1]

Chlorure de soufre.

M. Thomson a reconnu, par l'analyse, que le chlorure, formé en faisant traverser du soufre par un courant de chlore, est composé de 1 atome chlore + 2 atomes soufre, ou de

Chlore . . .	4,5 . . .	52,94 . . .	100
Soufre . . .	4,0 . . .	47,06 . . .	88,88
		100,00	

nous avons donc deux chlores de soufre :

1 Le chlorure formé par sir Humphry Davy ;

2 Le sous-bichlorure produit en faisant passer un courant de vapeur de chlore à travers des fleurs de soufre.[2]

Sulfure de phosphore.

Il est évident que, dans l'état de combinaison qui les rend composés solides, le soufre et le phosphore sont mêlés avec de l'oxide de phosphore, et probablement avec d'autres impuretés ; mais M. Faraday a indiqué une méthode pour obtenir le sulfure de phosphore pur.

Après avoir fait fondre ensemble 5 parties de soufre et 7 parties de phosphore, il agitait le composé dans de l'ammoniaque liquide. En l'y laissant séjourner pendant quelques heures, il perdait sa couleur de brun rougeâtre, devenait d'un jaune léger, transparent, et plus fluide. Ainsi purifié, il ne devint pas solide à la température de — 6°,66 centigrades ; et, à zéro, il était très-fluide. En le laissant pendant quelques semaines dans une bouteille d'eau, il déposa un cristal pur de soufre, et il resta un composé moins fluide que le premier, qui, à la température d'environ + 4°,44

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 291 ; *Annals of philosophy*, XII, 441.
[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 288.

centigrades, devint une masse cristalline. M. Faraday essaya d'analyser ce composé; mais ses expériences ne réussirent pas complétement. Cependant il parvint à reconnaître que les proportions des deux constituans se rapprochent de celles de 4 soufre et 8 phosphore. Si le poids d'un atome de phosphore est 1,5, cette composition indiquerait 1 atome soufre + 3 atomes phosphore. Mais, si un atome de phosphore pèse 2, alors le sulfure analysé est un composé de 1 atome soufre + 2 atomes phosphore. [1]

Du sélénium. [2]

Chlorure de sélénium.

Le sélénium se combine avec le chlore et forme un composé qui, d'après les expériences auxquelles le soumit M. Berzélius, semble être un bichlorure de sélénium. Après avoir mis une certaine quantité de sélénium dans un tube de verre, il y fit passer un courant de vapeur de chlore pendant tout aussi long-temps qu'il en était absorbé par le métal. Il se produisait ainsi un chlorure, d'abord liquide, mais qui acquiert de la solidité à mesure que le sélénium se sature de chlore, jusqu'à ce qu'enfin il prend une couleur blanche. Par l'application de la chaleur, le chlore se contracte un peu sans se fondre, il se sublime alors sous la forme d'une vapeur jaune, à la manière de l'acide sélénique, et se condense sur la partie froide de l'appareil, en petits cristaux blancs. Ce chlorure se dissout dans l'eau avec une sorte d'effervescence, et il est converti en acides sélénique et muriatique. Dans cet état, il dissout, à l'aide de la chaleur, le sélénium, avec lequel il forme un corps d'apparence huileuse, d'un jaune brunâtre transparent et volatil.

M. Berzélius reconnut que le poids d'une partie de

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 297; et *Royal institution journal*, IV, page 61.

[2] On avait déjà présenté, dans l'appendix joint à la traduction française de la précédente édition, l'histoire du sélénium comme métal nouvellement découvert, ainsi que l'exposé de ses propriétés, et de la plupart de ses combinaisons; mais il n'y avait pas été fait mention de celle qu'il peut former avec le chlore. R.

sélénium, ainsi converti en chlorure, est 2,79 parties; d'où il suit que c'est un composé de

Sélénium. . . .	1,00 .	ou	5,123
Chlore.	1,79 . . .		9,175

M. Berzélius ayant fait dissoudre le chlorure dans l'eau, et précipité l'acide hydro-chlorique formé, au moyen du nitrate d'argent, le chlorure d'argent produit pesait 7,2285; et cette quantité du composé contient 1,782 de chlore, ou sensiblement moins que ce qui en est indiqué par l'augmentation de poids du sélénium. D'après ce résultat, le chlorure de sélénium est un composé de

Sélénium. . . .	1,000 . .	ou	5,125
Chlore.	1,782		9,122

Le poids du chlore combiné avec un atome de sélénium est, d'après la synthèse, de 9,173, tandis que, d'après l'analyse, ce poids est de 9,1225; or, le terme moyen de ces deux quantités est 9,148, nombre se rapprochant de très-près, de 9, qui représente le poids de deux atomes de chlore. Il en résulte évidemment, que le composé dont il s'agit, est un bichlorure, consistant dans 2 atomes chlore et 1 atome sélénium, ou

Sélénium. . . .	5,125 . .	ou	1,000
Chlore.	9, ...		1,756 [1]

De l'arsenic.

Le sulfure rouge d'arsenic, connu sous le nom de *réalgar*, est composé, d'après les expériences de M. Berzélius, de Sulfures d'arsenic.

Arsenic.	100
Soufre	42,9

Or, 42,9 : 100 :: 4 : 9,32; mais 4 représente deux atomes de soufre, et 9,32 équivaut de très-près à un

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 300, et *Annals of philosophy*, XIII, 412, *ibid.* XIII, 30.

atome d'arsenic. Il en résulte donc évidemment, que le réalgar est un composé d'un atome d'arsenic avec deux atomes de soufre, ou, que c'est un bisulfure d'arsenic.

Orpiment. D'après les difficultés qui s'étaient élevées parmi les chimistes rélativement aux différences qu'on remarquait entre le réalgar et le sulfure jaune d'arsenic, appelé *orpiment;* et les doutes que M. Havy avait élevés sur celles adoptées concernant la composition de ces deux sulfures, M. Laugier entreprit une suite d'expériences dans la vue d'éclaircir cet objet de discussion. Le résultat de ces expériences fut que l'orpiment artificiellement préparé est composé de

Arsenic.	58,34 . . .	100
Soufre	41,66 . . .	71,42

Mais M. Berzélius a fait voir assez que les expériences de M. Laugier étaient, sous beaucoup de rapports inexactes; et d'après ses observations, l'orpiment est un composé de

Arsenic.	61
Soufre	39

Or, 39 : 61 :: 6 : 9,384; mais 6 représente trois atomes de soufre, et 9,384 est, à très-peu près, le poids d'un atome d'arsenic; d'où il suit évidemment, que l'orpiment est un composé d'un atome d'arsenic et de trois atomes de soufre, ou, que c'est un trisulfure d'arsenic. [1]

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 311; Annales de chimie, tome LXXXV, page 36.

COMBUSTIBLES SIMPLES

SALIFIABLES.

Du potassium et du sodium.

Mélange de chlorures de potassium et de sodium.

Le potassium et le sodium ont, l'un et l'autre, la faculté de s'unir au chlore, et les combinaisons formées, par chacun des deux métaux, avec ce principe, ont été décrites dans la traduction de l'édition précédente du système de chimie de M. Thomson. Mais comme les chlorures se rencontrent mêlés ensemble, et quelquefois dans des proportions très-variables, la connaissance qu'on a de la déterminaison précise des élémens qui les constituent rend l'analyse de semblables mélanges très-facile; c'est de l'analyse de ces mélanges que M. Gay-Lussac s'est occupé le premier, comme une acquisition nouvelle pour la science, et un moyen d'emploi utile dans quelques arts. On peut, suivant M. Gay-Lussac, parvenir d'une manière satisfaisante à cette analyse, à l'aide de plusieurs procédés d'une exécution facile; mais il préfère, comme réunissant à une très-grande simplicité toute la rigueur désirable, le procédé qui suit, fondé sur l'abaissement très-inégal de température que produit la dissolution dans l'eau de chacun des deux chlorures. Après avoir reconnu que 50 grammes de chlorure de potassium se dissolvant dans 200 grammes d'eau contenus dans un vase de verre de la capacité de 320 grammes d'eau et du poids de 185 grammes, produisent un abaissement de température de 11°,4 centigrades, tandis que la même quantité de chlorure de sodium donne lieu seulement, dans les mêmes circonstances, à un abaissement de 1°,9, ce savant observe que si l'on dissout dans 200 grammes d'eau 50 grammes d'un mélange des deux chlorures, le froid produit sera relatif à la proportion de chacun des chlorures; d'où il suit

qu'alors il sera toujours possible de conclure l'un de l'autre. On pourrait former ainsi une table, indiquant l'abaissement de température correspondant à un mélange connu des deux chlorures; mais M. Gay-Lussac propose, comme moyen devant suffire, celui de calculer la proportion de ces chlorures par une simple règle d'alliage, en partant de l'abaissement de température produit par la dissolution de chaque chlorure dans l'eau. Soit *d* cet abaissement, la règle pour calculer les chlorures de potassium dans 100 parties du mélange avec les degrés de froid énoncés, est :

$$\text{Chlorure de potassium} \ldots\ldots \quad \frac{100^{d} - 190}{9,5}$$

Les proportions de mélanges connus calculées par cette règle ne différeront jamais de plus d'un centième des véritables. Il suffira en opérant ainsi, 1° d'avoir un thermomètre très-sensible, sur lequel on trouve facilement indiqués des dixièmes de degrés; 2° de réduire le mélange des deux chlorures en poudre très-fine, afin qu'il se dissolve dans l'eau le plus rapidement possible; 3° de tenir par le col seulement le vase dont on se sert pour contenir l'eau, et dans lequel on doit plonger le thermomètre pour en connaître la température, afin que la chaleur de la main ne puisse pas influer sur la température de cette eau; on y verse ensuite promptement 50 grammes du mélange, et pendant que le thermomètre est suspendu dans le liquide avec la main gauche, on tient le col du vase avec la main droite, et on lui imprime un mouvement giratoire très-rapide pour accélérer la dissolution. Pendant qu'elle s'opère, le thermomètre baisse très-promptement; on suit sa marche avec attention, et on observe le degré le plus bas auquel il s'arrête.

Ce procédé qui exige à peine dix minutes pour être exécuté en entier, est susceptible de la plus grande précision; et, à raison de son extrême sensibilité, il peut être employé dans les arts.[1]

[1] Annales de chimie et de physique, tome XII, page 41

Du Lithion. [1]

On trouve dans la mine d'Uto, en Suède, un minéral, que M. d'Andrada distingua le premier sous le nom de *pétalite*. Ce minéral, quoique connu des minéralogistes depuis plusieurs années, n'a fixé que récemment l'attention des chimistes. On ne l'a jamais rencontré cristallisé; mais sa forme primitive, obtenue et calculée par M. Haüy au moyen de la division mécanique et à l'aide du gonyomètre, est un prisme rhomboïdal, dans lequel la proportion entre les deux diagonales, est comme $\sqrt{13} : \sqrt{2}$ ce qui détermine les deux angles opposés, l'un à 137°,8′, et l'autre à 42°, 52′.

La couleur du pétalite est le blanc, avec de très-légères teintes, de rouge, de bleu, ou de vert, dues probablement à un mélange de substances étrangères. Sa cassure en long est lamelleuse, celle en travers est conchoïde, à petites cavités, ou quelquefois fibreuse. Son éclat extérieur se rapproche de l'état nacré, à l'intérieur il est presque vitreux.

La pesanteur spécifique du pétalite est, suivant M. Arfwedson, de 2,421, de 2,4268, selon le docteur Gmelin et le docteur Clarke, l'établit à 2,45.

Le pétalite est translucide, et en petits fragmens, presque transparens. Sa réfraction est simple, au moins, lorsqu'on regarde l'objet à travers les faces parallèles du minéral. Sa dureté paraît être à peu près la même que celle du feldspath. Il raye facilement le verre, ce qui n'a pas lieu à l'égard du feldspath. Sa fusibilité au chalumeau est à peu près la même que celle de l'adulaire. Le verre,

---

[1] Il avait été fait déjà mention, dans l'appendix joint à la traduction de la précédente édition, de la lithine, comme d'un alcali nouvellement découvert dans le *pétalite;* mais dans l'exposé qui y a été présenté des propriétés de cette substance reconnues d'abord par M. Arfwedson, et depuis par M. Vauquelin, les dénominations de lithine et de lithion, métal d'où on l'obtient, n'ayant pas été appliquées d'une manière exacte, on a cru convenable, pour éviter toute ambiguité ou erreur, d'offrir ici l'histoire du lithion telle que M. Thomson la donne dans sa sixième édition, en y ajoutant ce que MM. Vauquelin et Arfwedson ont fait connaître sur ce métal et son oxide. R.

lorsque la fusion a été complète, est transparent et parsemé de petites bulles d'air à l'intérieur; avec addition de borax, il se fond en un verre incolore; mis en digestion dans des acides, il est en partie décomposé.

Ce minéral attira l'attention de M. Arfwedson, jeune chimiste, élève de M. Berzélius, et il le trouva composé de silice, d'alumine, et d'un alkali. Une perte de poids qui eut lieu, dans trois analyses qu'il en fit, le porta à examiner la nature de cet alkali. Il lui reconnut des propriétés particulières; et, d'après l'idée que lui en suggéra M. Berzélius, M. Arfwedson crut devoir distinguer cet alkali nouveau par le nom de *lithine*, de λιθος (pierre.)

Outre le pétalite, la lithine a été également trouvée dans le minéral connu sous le nom de *spodumène* ou *triphane*.

Comment on l'obtient.

On peut retirer la lithine de ces minéraux en les traitant ainsi qu'il suit : Après les avoir réduits en poudre, et mis à l'état de fusion dans un creuset, avec une suffisante quantité de carbonate ou de nitrate de baryte, on fait dissoudre la masse fondue dans l'acide hydro-chlorique; on ajoute ensuite assez d'acide sulfurique pour précipiter la baryte, et déplacer l'acide hydro-chlorique; après avoir alors filtré la dissolution, qu'on évapore à siccité, on redissout le résidu dans l'eau, et on ajoute à la liqueur filtrée assez de carbonate d'ammoniaque pour en précipiter tout, excepté la lithine. On filtre et on évapore à siccité la liqueur filtrée, et le résidu, calciné dans un creuset, devient sulfate pur de lithine. Si l'on dissout ce résidu dans l'eau, et qu'on précipite exactement tout l'acide sulfurique, au moyen d'eau de baryte introduite dans la dissolution, la lithine seule y restera; et, en l'évaporant, on pourra obtenir cette substance à l'état de pureté.

Ses propriétés.

La lithine, ainsi obtenue, est blanche; elle verdit les couleurs bleues végétales; sa saveur est aussi pleinement caustique que celle de la potasse elle-même. Elle n'attire pas, comme ce dernier alkali, l'humidité par son exposition à l'air, elle y reste *parfaitement* sèche; mais elle absorbe par degrés l'acide carbonique et se convertit en carbonate. Elle n'est que peu soluble dans l'eau, comparativement à la potasse ou à la soude. Gmelin trouva qu'elle se dissout à peine dans l'alcool de la pesanteur

spécifique de 0,85; et, qu'en ajoutant de l'alcool à une dissolution aqueuse de lithine, cet alkali se précipite, après quelques heures d'intervalle. La lithine, chauffée dans un creuset de platine, agit avec une très-grande énergie sur ce métal.

Sir Humphry Davy parvint à extraire de la lithine, sa base métallique. Il trouva qu'elle ressemblait beaucoup à celle des autres métaux alkalins, au *sodium* spécialement, avec lequel la base de la lithine paraît être le plus souvent presque alliée. MM. Arfwedson et Gmelin essayèrent l'un et l'autre, sans succès, cette réduction, à l'aide de la pile galvanique.

Il n'a point été fait de tentatives, pour déterminer la proportion d'oxigène avec laquelle le lithion s'unit, lorsqu'il est converti en lithine; mais on peut en approcher de très-près par le moyen qui suit. Le sulfate de lithine a été analysé par MM. Arfwedson et Vauquelin, et les résultats de leurs analyses ont donné, pour parties constituantes de ce sel, savoir:

Arfwedson.

Acide sulfurique	68,65 . .	5
Lithine	31,35 . .	2,283
	100,0	

Vauquelin.

Acide sulfurique	69,2 . .	5
Lithine	30,8 . .	2,225
	100,0	

Il résulte de ces analyses, que le nombre équivalent, pour la lithine (ou la quantité capable de saturer un atome d'acide sulfurique), est 2,283, suivant M. Arfwedson, et 2,225, selon M. Vauquelin; or, le terme moyen de ces deux nombres est 2,254; d'où il suit, qu'on peut, sans erreur sensible, adopter 2,25 pour le poids d'une molécule intégrante de lithine; et si nous la supposons un composé d'un atome lithion et d'un atome oxigène (comme cela est probable d'après l'analogie), alors la

composition de la lithine sera

Lithion	1,25
Oxigène	1,00

et le poids d'un atome de lithion sera 1,25.

Dans la série de ses recherches sur les combinaisons de la lithine, M. Arfwedson obtint et put reconnaître, à quelques propriétés particulières et distinctives, le carbonate, le carbonate neutre, le sulfate, le sulfate acide, l'acétate, le tartrate, le borate de lithine, et le sulfate triple d'alumine et de cet alkali. En faisant bouillir une dissolution concentrée de carbonate de lithine avec une quantité suffisante de chaux caustique éteinte, et en faisant fondre ensuite dans un creuset d'argent, à la manière ordinaire des alkalis, le résidu de la dissolution filtrée, M. Arfwedson obtint la lithine à l'état caustique.

Chlorure. Le lithion se combine avec le chlore, et il en résulte un composé auquel on peut donner le nom de chlorure de lithion. Ce chlorure n'a pas été directement formé, mais on peut l'obtenir, lorsqu'après avoir saturé la lithine avec de l'acide hydro-chlorique, et évaporé la dissolution à siccité, on chauffe le sel desséché à l'abri du contact de l'air. L'hydro-chlorate de lithine ne cristallise pas, mais il se dépose pendant l'évaporation, sous la forme d'une croûte de texture irrégulière. Il entre immédiatement en déliquescence par son exposition à l'air. Chauffé, il se fond à une très-basse température. Le chlorure de lithion, exposé à l'air, en attire promptement l'humidité, et est ainsi converti en hydro-chlorate de lithine. Ce chlorure est composé, suivant l'analyse de M. Arfwedson, de

Chlore . .	3,26 . . .	4,5
Lithine . .	0,944 . . .	1,303

or 4,5 est le poids d'un atome de chlore, et 1,303 diffère très-peu de 1,25, qui est le poids d'un atome de lithion; d'où il suit évidemment, que le chlorure de ce métal est un composé de 1 atome chlore + 1 atome lithion.

Nous ne connaissons pas de composés que le lithion soit capable de former avec l'iode et les combustibles acidi-

fiables simples. M. Vauquelin s'est assuré que la lithine s'unit au soufre de la même manière que la potasse et la soude. Il en résulte un sulfure de couleur jaune, qui a des propriétés semblables à celles des sulfures alcalins ordinaires. [1]

Du Fer.

Sélénure de fer.

Lorsqu'on chauffe au rouge un mélange de limaille de fer et de sélénium en poudre, il s'opère une combinaison, sans aucune apparence de combustion; mais si, après avoir mis du sélénium au fond d'un tube de verre, et placé par-dessus de la limaille de fer, on applique une chaleur suffisante pour volatiliser le sélénium, la limaille de fer absorbe cette vapeur; elle devient rouge de chaleur, et cet état d'ignition continue pendant aussi longtemps qu'il y a du séléniure absorbé. Le séléniure de fer, ainsi formé, a une apparence métallique; sa couleur est le gris avec une nuance de jaune. Ce séléniure ne se fond pas, mais il devient agglutiné en une masse cohérente. Au chalumeau, il abandonne une portion de son sélénium, et il est converti en une masse noire, cristallisée, cassante, qui paraît être un séléniate de fer.

Le séléniure de fer se dissout aisément dans l'acide hydro-chlorique, avec développement de gaz hydrogène sélénié, et c'est le meilleur procédé pour se procurer ce gaz. Outre le gaz hydrogène sélénié, il s'en dégage encore un autre, qui n'est soluble ni dans l'eau, ni dans les alkalis caustiques. Ce gaz a une odeur très-désagréable que les vaisseaux de verre retiennent pendant long-temps, même après avoir été nettoyés. [2]

Oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau.

MM. Marshall Hall et Guibourt ont publié l'un et l'autre un Mémoire sur l'*oxidation du fer par le concours de l'air et de l'eau;* le premier, dans le Journal de l'institution royale, VII, 55, et M. Guibourt, dans le Journal de pharmacie, IV, 241.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 343, *Annals of philosophy*, VI, 169 et 198; Annales de chimie et de physique, tome VII, page 284, et tome X, page 82.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 401, et Annales de chimie et de physique, tome IX, page 242.

M. Hall ayant fait ses expériences en plongeant des feuilles de fer dans de l'eau à la température ordinaire, purgée ou non purgée d'air, et en exposant à l'air un morceau de tôle couvert avec de la mousseline humectée, en conclut, en opposition à ce qui avait été généralement admis, 1° que l'eau, bien purgée de l'oxigène qu'elle tient ordinairement en dissolution, et parfaitement isolée du contact de l'air, ne peut oxider le fer à une température ordinaire; 2° que l'oxigène ou l'air, parfaitement secs, ne peuvent pas non plus altérer le fer; 3° qu'au contraire, l'oxidation s'opère très-facilement par le concours simultané de l'air et de l'eau; dans ce cas, l'air fournit l'oxigène, qui étant saisi par l'eau, est transmis par elle, comme intermédiaire nécessaire, au fer; ou plutôt peut-être, la présence de l'oxigène, sous forme d'hydrate, est-elle indispensable à l'oxidation du métal.

Le résultat général des expériences de M. Guibourt, est que le fer décompose l'eau par lui-même, et à froid, et que cette décomposition augmente avec la température. Néanmoins dans plusieurs de ses expériences, faites dans de certaines circonstances, M. Guibourt obtint un résultat contraire; cette différence donna lieu, pour en expliquer la cause, à faire remarquer que le fer et son oxide doivent être considérés comme deux corps hétérogènes, d'énergies électriques différentes, et pouvant, par leur contact, déterminer la décomposition de l'eau, de la même manière qu'un élément de cuivre et de zinc dans la pile voltaïque.

Par cette considération, du fer bien net, tenu sous de l'eau privée d'oxigène, n'éprouve aucune altération; si l'eau contient de l'air, il se forme de l'oxide d'un brun rouge, qui conserve sa couleur s'il est isolé du fer, et devient d'un vert brun, s'il reste adhérent à la surface de ce métal. Dans ce dernier cas, la décomposition de l'eau est favorisée par le contact du fer et de son oxide, et l'hydrogène qui en résulte, ramène à un degré inférieur l'oxide rouge formé par l'action de l'air.

D'après ces observations, et en comparant entre elles les expériences de MM. Hall et Guibourt, et leurs résultats, il paraîtrait démontré, que le fer ne décompose pas l'eau à un température ordinaire, quand ils sont l'un et

l'autre parfaitement purs. Mais l'oxidation, une fois commencée, par une cause quelconque, peut continuer par l'action seule de l'eau. [1]

Du Cobalt.

Sélénium.

Le cobalt absorbe aisément le sélénium, à l'aide de la chaleur. Cette combinaison chauffée au rouge se fond, abandonne son excès de sélénium, et forme une masse de couleur grise avec éclat métallique, et d'une cassure lamelleuse. [2]

Du Vodanium.

M. Lampadius a donné le nom de *vodan* ou *vodanium* (de celui d'une ancienne divinité des Germains) à un métal, qu'il annonce avoir découvert dans un minéral, que M. Van Trebra avait reçu de Topschau en Hongrie. M. Breithaupt, qui a désigné ce minéral, sous le nom de pyrite de vodan ou vodanium, le décrit ainsi qu'il suit : on ne l'a rencontré jusqu'à présent qu'en masse, et dans cet état, il est rempli de cavités. Sa cassure est inégale et grenue à petits ou à gros grains. Les fragmens sont anguleux, indéterminés, à bords non particulièrement aigus.

Cette pyrite est plus dure que le fluate de chaux, mais moins que l'apatite; elle est cassante, aisément frangible; sa pesanteur spécifique est 5,192.

Ses parties constituantes sont, suivant M. Lampadius, du vodanium, du soufre, de l'arsenic, du fer et du nickel. Nous ne connaissons pas quel est le procédé qu'employa ce chimiste pour extraire le vodanium de cette mine, et le réduire à l'état métallique; mais il a assigné à ce métal, nouvellement découvert, les caractères suivans.

Ce métal est d'un jaune de bronze, semblable à celui du cobalt glauque, et sa pesanteur spécifique est 11,470.

Le vodanium est malléable; sa cassure est hapiforme; il a la dureté du fluate de chaux, et il est très-attirable

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XI, page 40.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 413, et Annales de chimie et de physique, tome IX, page 244.

à l'aimant; il ne se ternit point à l'air à la température ordinaire, mais par la chaleur il est converti en un oxide noir.

La dissolution de ce métal dans les acides est incolore, ou, au moins elle n'a qu'une légère teinte de jaune de vin. Son carbonate hydraté est également blanc. Son hydrate, précipité par l'ammoniaque caustique, est d'un bleu indigo.

Les phosphates et arséniates alkalins ne donnent lieu à aucun précipité dans une dissolution acide saturée de ce métal. Il n'y en est pas produit non plus par l'infusion de noix de galle. Une lame de zinc précipite une poudre noire métallique de la dissolution de ce métal dans l'acide hydro-chlorique. Le précipité, occasioné par l'hydro-cyanate de potasse, est d'un gris perlé.

L'acide nitrique dissout aisément et ce métal et son oxide, et la dissolution fournit des cristaux aiguillés incolores, qui se dissolvent avec facilité dans l'eau. [1]

Nota. Depuis la découverte du vodanium, annoncée par M. Lampadius, M. Stromeyer qui a fait en dernier lieu l'analyse d'échantillons du minéral même, d'où ce chimiste l'avait extrait, assure n'avoir trouvé dans ce minéral, que du nickel, du cobalt, du fer, du cuivre, du plomb, de l'antimoine, de l'arsenic et du soufre, sans aucune trace de vodanium. [2]

Du Manganèse.

Oxides. M. Arfwedson assure avoir trouvé un oxide de manganèse, intermédiaire entre les oxides vert et le peroxide de ce métal. Il annonce l'avoir obtenu en chauffant au rouge du nitrate de manganèse, ou en exposant à l'air l'oxide vert. Il est composé comme le 4e oxide de M. Berzélius, et il est noir; s'il en est ainsi, l'oxide doit être formé de

1 Atome manganèse	= 3,5,	ou 100	
1,5 Atome oxigène. . .	1,5	42,+857 [2]	

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 414, *Annals of philosophy*, XIII, 252, et Annales de chimie et de physique, tome XI, page 201.
[2] Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 335.

Hydrate.

Dans une suite d'expériences que fit M. Arfwedson sur le peroxide natif du manganèse, il découvrit, qu'outre le peroxide pur, il se rencontre, parfois dans la nature, une substance composée de deux atomes de peroxide et d'un atome de protoxide, ensemble avec 10,08 pour cent d'eau; [1] d'où il suit que ses parties constituantes sont :

Protoxide de manganèse.	26,11	ou 4,5=1	atome.
Peroxide de manganèse.	63,81	11,0=2	atomes
Eau	10,08	1,7=1,5	atome
	100,00		

Cet hydrate ne tache point les mains, et il donne une couleur brune rougeâtre. Il est quelquefois cristallisé en fines aiguilles. [2]

Acide manganésique.

D'après les expériences de MM. Chevillot et Edwards sur le caméléon minéral, il y a lieu de croire, que le manganèse peut se combiner avec une proportion d'oxigène plus grande que celle qui existe dans l'oxide noir, et que le composé qui en résulte, a les propriétés d'un acide. Ces messieurs sont parvenus à former un sel cristallisé, composé de potasse, d'oxide noir de manganèse et d'oxigène, toutes parties constituantes, présentes, en proportions définies. Ce sel est rouge, mais sa couleur passe au vert lorsqu'il contient un excès de potasse. La quantité d'oxigène paraît devoir être rapportée au manganèse et non à la potasse; il est donc présumable que l'oxigène se combine plus particulièrement avec l'oxide du métal. Lorsqu'on chauffe les cristaux du sel rouge, en contact avec du gaz hydrogène, il y a ignition. Avec le phosphore, ces cristaux produisent une détonation violente, ils enflamment le soufre, l'arsenic, l'antimoine, et ils produiraient le même effet sur tous les corps combustibles essayés.

Si l'on suppose que cet *acide manganésique*, ainsi

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 419; Annales de chimie et de physique, tome VI, page 204.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 419, et Journal de physique, LXXXVII, 464.

que MM. Chevillot et Edwards pensent qu'il pourrait être nommé, est un composé de 1 atome manganèse, et trois atomes oxigène, alors ses parties constituantes seraient :

Manganèse.	3,5	ou 100,00
Oxigène.	3,0	ou 85,71 [1]

Du Zinc.

Séléniure. La combinaison du zinc avec le sélénium s'opère aussi difficilement que celle du soufre avec ce même dernier métal; mais si l'on met une baguette de zinc chauffée au rouge, en contact avec des vapeurs de sélénium, il y a explosion et production d'une poudre jaune, qui est un séléniure de zinc. Cette poudre se dissout dans l'acide nitrique avec dégagement du gaz nitreux. Le zinc est oxidé et dissous, tandis que le sélénium se sépare à l'état d'une poudre rouge. [2]

Du Cadmium.

Histoire. Le professeur Stromeyer de Gottingue, chargé de l'inspection des pharmacies du Hanovre, reconnut, en remplissant les fonctions de cet emploi dans la principauté de Hildesheim, en 1817, qu'on substituait, dans cette contrée, le carbonate de zinc à l'oxide de ce métal, dont l'usage avait été prescrit dans les pharmacopées. Ce carbonate de zinc se fabriquait à Salzgitter. D'après les informations qu'il prit auprès de M. Jost, qui dirigeait cette fabrication, il apprit qu'on s'était trouvé dans la nécessité de substituer le carbonate à l'oxide de zinc, parce que cet oxide avait une couleur jaune qui nuisait à son débit dans le commerce. En examinant cet oxide, M. Stromeyer s'assura, qu'il devait sa couleur jaune à la présence d'une petite quantité de l'oxide d'un métal nouveau, dont il fit la séparation, qu'il réduisit et examina. Il donna au métal qu'il obtint ainsi, le nom de *cadmium*,

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 419, et Annales de chimie et de physique, tome VIII, page 337.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 436, et Annales de chimie et de physique, tome IX, page 241.

parce qu'on le trouve ordinairement accompagnant le zinc. Dans le cours des visites faites, il y a quelques années, dans les pharmacies de l'état de Magdebourg, on trouva, chez plusieurs pharmaciens, une préparation de zinc provenant de la Silésie, faite dans la manufacture de M. Hermann, à Schönebeck, qui avait été saisie, comme étant supposée contenir de l'arsenic; parce qu'en la faisant dissoudre dans des acides, et en mêlant la dissolution avec du gaz hydrogène sulfuré, il s'y produisait un précipité qui, soumis à quelques expériences, fut jugé être de l'orpiment. Cette circonstance ne pouvait être indifférente à M. Hermann, parce qu'elle compromettait le crédit de sa manufacture; et particulièrement encore, parce que le conseiller de médecine Roloff, qui assistait à la visite des pharmacies, avait envoyé son rapport du tout à M. Hufeland, à Berlin, qui le publia dans son journal médical. M. Hermann crut donc devoir soumettre à un nouvel examen, fait avec beaucoup de soin, l'oxide de zinc suspecté; mais il ne put parvenir à y découvrir de trace d'arsenic. Il demanda alors au conseiller Roloff de répéter son expérience sur l'oxide; et celui-ci ayant bien voulu essayer de nouveau la préparation de zinc inculpée, il reconnut que le précipité, qu'il avait pris d'abord pour de l'orpiment, n'en était réellement pas; mais qu'il était dû à la présence d'un autre métal, ayant une très-grande ressemblance avec l'arsenic, mais probablement nouveau. Pour acquérir une entière certitude à ce sujet, il fut envoyé des échantillons de l'oxide de zinc et du précipité jaune à M. Stromeyer, qui y reconnut aussitôt la présence du cadmium, en proportion considérablement plus grande (environ 8 pour cent) que dans l'oxide qu'il avait précédemment examiné. Cette circonstance lui fournit l'occasion de se procurer une quantité de ce nouveau métal, suffisante pour pouvoir en examiner en détail les propriétés.

Comme on l'obtient.

Pour opérer la séparation du cadmium de l'oxide de zinc, avec lequel il se trouvait mêlé, le professeur Stromeyer, après avoir fait dissoudre l'oxide dans l'acide sulfurique, et ajouté un excès de cet acide à la dissolution, y faisait passer un courant de gaz hydrogène sulfuré, jusqu'à ce que tout le cadmium fût précipité. Ce métal

entraîne avec lui une portion de zinc et de cuivre, s'il arrive qu'il y en ait présence. Le précipité est redissous dans l'acide hydro-chlorique concentré, et on se débarrasse de l'excès d'acide par évaporation. Le liquide est alors mêlé avec du carbonate d'ammoniaque en excès. Le zinc et le cuivre sont redissous en totalité, tandis que le carbonate de cadmium est précipité sous forme pulvérulente. En chauffant ce carbonate au rouge, il est converti en oxide pur de cadmium. En exposant ensuite un mélange de cet oxide et de noir de fumée à une chaleur modérément rouge, dans une cornue de terre ou de verre, le cadmium est réduit à l'état métallique.

Propriétés. Le cadmium, ainsi obtenu, est de couleur blanche, avec une très-légère nuance de gris-bleuâtre, ce qui le fait ressembler beaucoup à l'étain. Il est brillant et peut être susceptible de prendre un beau poli : sa cassure est hapiforme, et il cristallise aisément en octaèdres réguliers.

Ce métal est mou ; il est facilement attaqué par la lime, ou peut être coupé au couteau : il est très-malléable, et peut être réduit, sous le marteau, en lames très-minces ; on peut aussi le tirer en fils.

Sa pesanteur spécifique, lorsqu'il a été fondu, est de 8,6040 ; mais elle s'élève, après qu'il a été écroui, à 8,694,4.

Oxide. Le cadmium est très-fusible ; sa fusion a lieu avant que la chaleur à laquelle on l'expose soit au rouge : on peut l'opérer en le touchant avec un fil de fer rouge de feu. Il est aussi très-volatil, et peut être converti en vapeur, à une température de peu supérieure à celle du terme d'ébullition du mercure. Cette vapeur n'exhale point d'odeur particulière. Le métal en fusion se réunit en gouttes comme le mercure, et il cristallise à mesure qu'il se refroidit.

Le cadmium, exposé à l'air, s'y altère aussi peu que le zinc, quoiqu'à la longue sa surface perde son éclat. Chauffé à l'air, il prend aussi facilement feu que le zinc ; il est transformé en un oxide de couleur jaune-brunâtre, qui ordinairement s'exhale à l'état d'une fumée jaune-brunâtre, et recouvre les substances qu'on tient au-dessus du métal en ignition ; il ne produit même pas, en brûlant ainsi, d'odeur sensible.

Le cadmium se dissout lentement dans les acides sulfurique, hydro-chlorique et acétique, avec dégagement de gaz hydrogène. L'acide nitrique le dissout aisément; et pendant la dissolution, il se dégage du gaz nitreux; dans tous les cas, il se combine avec la même proportion d'oxigène, ne formant qu'un seul oxide, de couleur jaune, fixe au feu et infusible à une chaleur blanche. Nous avons deux séries d'expériences faites par M. Stromeyer, pour déterminer la composition de cet oxide. La première donne le nombre équivalent pour le poids d'une molécule intégrante de l'oxide; la seconde indique l'augmentation de poids que le métal éprouve lorsqu'il est converti en oxide.

M. Stromeyer trouva que les composés salins suivans d'oxide de cadmium, sont formés, savoir :

1. *Carbonate de cadmium.*

Acide carbonique.	100	ou	2,75
Oxide de cadmium.. . . .	292,88		8,052

2. *Sulfate de cadmium.*

Acide sulfurique	100	ou	5
Oxide de cadmium.. . . .	161,1205		8,056

3. *Nitrate de cadmium.*

Acide nitrique	100	ou	6,75
Oxide de cadmium.. . . .	117,58		7,936

On voit, d'après la composition de ces trois sels, que le nombre équivalent, pour l'oxide de cadmium, est 8,052, 8,056, et 7,936. Or le terme moyen de ces trois nombres est 8,015. On peut donc prendre 8, comme étant, selon toute probabilité, le poids réel d'une molécule intégrante d'oxide de cadmium.

De plus, M. Stromeyer trouva que cent parties de cadmium, lorsqu'elles se convertissent en oxide, absorbaient 14,352 parties de gaz oxigène. Or, 14,352 : 100 :: 1 : 6,9677; mais 7,9677, poids d'une molécule intégrante d'oxide de cadmium, qui résulterait de cette expérience;

dans la supposition que l'oxide est un composé de 1 atome métal + 1 atome oxigène, est, à très-peu près, 8, nombre obtenu par l'analyse des sels; il s'ensuit donc évidemment, que l'oxide de cadmium consiste dans un atome du métal + 1 atome d'oxigène. Le nombre que donne l'analyse des sels, semble être susceptible du plus grand degré d'exactitude : nous le choisirons donc de préférence, et nous considérerons le poids d'un atome de cadmium comme 7, et l'oxide de ce métal sera formé de

Cadmium	7	ou	100
Oxigène	1	ou	14,2857

La couleur de cet oxide varie, suivant le degré de chaleur auquel il a été exposé, du jaune brunâtre, au brun clair, brun foncé ou blanchâtre. Chauffé en contact avec du charbon, sa réduction s'opère avec la plus grande facilité. Il est insoluble dans l'eau; mais il se combine avec ce liquide, et forme un hydrate blanc, qui, par son exposition à l'air, absorbe promptement l'acide carbonique.

Les alkalis fixes n'attaquent pas sensiblement l'oxide de cadmium; mais cet oxide se dissout aisément dans l'ammoniaque, en se convertissant d'abord en hydrate. Par l'évaporation de la dissolution ammoniacale, l'oxide se précipite à l'état d'un hydrate gélatineux. Cet oxide se dissout également dans le carbonate d'ammoniaque; il sature les différens acides, avec lesquels il forme des sels neutres.

Chlorure. On obtient, en évaporant la dissolution d'oxide de cadmium dans l'acide hydro-chlorique, de petits cristaux rectangulaires, transparens, d'hydro-chlorate de cadmium. Ces cristaux étant chauffés, perdent leur eau de cristallisation, et se convertissent en une masse cristallisée en lames, transparente, avec éclat nacré, inclinant tant soit peu à l'éclat métallique. Cette masse peut être considérée comme un chlorure de cadmium; exposée à l'air, elle s'y réduit en une poudre blanche. Lorsqu'elle est fortement chauffée, elle se sublime à l'état de lames micacées avec son premier éclat et sa transparence, et ne s'altérant point à l'air. Le chlorure de cad-

mium est composé, d'après l'analyse de M. Stromeyer, de

Chlore	38,6123	ou	4,5
Cadmium	61,3877	ou	7,154
	100,0000		

Or, le nombre 7,154 se rapproche de très-près du poids d'un atome de cadmium; d'où il suit évidemment, que le chlorure est composé de 1 atome chlore + 1 atome cadmium; et, par conséquent, sa véritable composition doit être

Chlore	4,5	ou	39,13
Cadmium	7,	ou	60,87
			100,00

Le cadmium se combine facilement avec l'iode, soit en chauffant ensemble les deux substances, ou en les faisant bouillir dans l'eau jusqu'à dissolution. Par l'évaporation de cette dissolution, on obtient des cristaux en tables à six pans, ayant les propriétés de l'iodure formé lorsqu'on chauffe directement ensemble les deux constituans. Ces cristaux sont blancs, transparens et inaltérables à l'air. Leur éclat est métallique, avec tendance à l'éclat nacré. Chauffés, ils entrent très-facilement en fusion, et prennent par le refroidissement leur forme cristalline. Exposés à une forte chaleur, l'iode est chassé par degrés. Ces cristaux se dissolvent aisément dans l'eau et dans l'alcool, et par l'évaporation de ces liquides, ils reprennent leur forme cristalline. Le cadmium peut être précipité de ces dissolutions, à l'état de carbonate, par les carbonates alkalins; il l'est également par le gaz hydrogène sulfuré. Il est évident, que ces cristaux, lorsqu'ils sont en dissolution, constituent un hydriodate de cadmium; mais à l'état sec, c'est un iodure. D'après les expériences de M. Stromeyer, l'iodure est composé de Iodure.

Cadmium. . .	100	30,541	7
Iode	227,4287	69,459	15,92

d'où l'on voit, que l'iode est un composé de 1 atome cadmium et 1 atome iode.

Le cadmium ne semble pas susceptible de combinaison avec l'azote ou l'hydrogène. On ne sait rien de celles que peut former ce métal avec le carbone, le bore, le silicium, ou le sélénium; mais il s'unit facilement au soufre, avec lequel il forme un sulfure, qui a été examiné par M. Stromeyer.

Sulfure. Le soufre et le cadmium ne s'unissent que dans une seule proportion, et le sulfure est converti par l'action de l'acide nitrique, en un sulfate neutre de cadmium. Il est par conséquent évidemment composé de

Cadmium	7
Soufre.	2

Ce sulfure est de couleur jaune inclinant à l'orangé, réduit en poudre, il est d'une très-belle couleur orangé; chauffé au rouge, il passe d'abord au brun, puis au rouge carmin; mais en refroidissant, il reprend sa couleur primitive. Il peut supporter l'action d'une très-forte chaleur, sans éprouver aucun changement; mais lorsqu'elle est poussée au blanc intense, il se fond et cristallise en lames micacées transparentes d'un très-beau jaune. Ce sulfure se dissout aisément dans l'acide hydrochlorique concentré, avec dégagement de gaz hydrogène sulfuré, et sans qu'il se dépose de soufre; mais l'acide hydro-chlorique étendu l'attaque à peine, même à l'aide de la chaleur.

Le soufre et le cadmium ne peuvent aisément former d'union en les chauffant à l'état de mélange. On y réussit mieux, lorsqu'on expose à la chaleur un mélange d'oxide de cadmium et de soufre. Mais le moyen le plus facile de produire le sulfure consiste à précipiter un sel de cadmium au moyen du gaz hydrogène sulfuré. Ce sulfure s'emploie utilement dans la peinture.

phosphure. Le phosphure de cadmium est gris et d'un aspect faiblement métallique. Il est très-cassant, et entre en fusion avec la plus grande facilité. Il brûle avec un grand éclat sur les charbons ardens, en exhalant une forte odeur de phosphore, et il est converti en phosphate de cadmium.

On n'a examiné, jusqu'à présent, aucune des combinaisons du cadmium et des métaux, à l'exception des alliages qu'il forme avec le cuivre, le mercure et le platine.

Le cadmium est précipité à l'état métallique par une lame de zinc; mais il a la propriété de précipiter le plomb, l'étain, le cuivre, le bismuth, le mercure et l'argent. [1]

Du Plomb.

Le plomb s'unit aisément au sélénium, et pendant que cette union s'opère il y a dégagement de chaleur. Le plomb se gonfle, et forme une masse poreuse de couleur grise, qui ne se fond point à une chaleur rouge; mais cette masse est susceptible de recevoir des impressions, de prendre un beau poli, et dans cet état, elle a la blancheur de l'argent. Ce séléniure, lorsqu'il est chauffé, donne d'abord un peu de sélénium, et il s'évapore ensuite en partie sous la forme d'une fumée blanche. [2] Séléniure.

De l'Etain.

L'étain et le sélénium s'unissent avec dégagement de chaleur. L'étain se gonfle, mais ne devient pas liquide. La masse est grise, et prend, lorsqu'elle a été polie, un éclat métallique très-prononcé. Ce séléniure laisse dégager, par la chaleur, son sélénium, beaucoup plus facilement qu'aucun autre séléniure. La combinaison ne se fond pas; mais, après la volatilisation du sélénium, l'étain reste à l'état d'oxide. [3] Séléniure.

Du Cuivre.

M. Rennie s'est assuré qu'un barreau de fonte de cuivre de 6 millimètres de diamètre, se rompait par un poids de 540,5 kilogrammes; tandis qu'il en fallait un de 957,6 kilogrammes, pour faire rompre un barreau semblable de

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 437, Stromeyer, *Annals of philosophy*, XIII, 108. — Gilbert's Annalen LX, 201, 202, 205 et 307. — Et Annales de chimie et de physique, tome VIII, page 100, et tome XI, page 76.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 449, et Annales de chimie et de physique, tome X, page 245.

[3] 6e édition de T omson, vol. I, page 459, et Annales de chimie et de physique, tome IX, page 244.

cuivre écroui. D'après ces expériences, un fil de fonte de cuivre de 2,5 millimètres de diamètre, est rompu par un poids de 86,4 kilogrammes; tandis qu'un fil de cuivre écroui, de même diamètre, exige, pour se rompre, 153,2 kilogrammes.

Séléniure.

Lorsqu'on fait passer un courant de gaz hydrogène sélénié dans une dissolution de sulfate de cuivre, il se produit un précipité en flocons noirs, qui, étant séchés, deviennent gris, et se laissent polir par l'hématite. Ce précipité est probablement un bi-séléniure de cuivre. Exposé à la chaleur, la moitié du sélénium se dégage, et il reste une masse fondue, qui est vraisemblablement un proto-séléniure de cuivre. On obtient aussi ce dernier séléniure, en chauffant ensemble du cuivre et du sélénium. Il est d'un gris d'acier, et entre en fusion longtemps avant d'être chauffé au rouge. Exposé à une forte chaleur, il abandonne une portion de son sélénium; mais il en retient toujours.

Alliage avec le cadmium.

On peut combiner ensemble le cuivre et le cadmium. L'alliage est blanc avec une nuance de jaune. Cet alliage est très-cassant, lors même que la proportion du cadmium ne s'élève qu'à la deux ou trois centième partie de celle du cuivre. Exposé à une température suffisamment élevée pour fondre le cuivre, il est décomposé, et le cadmium volatilisé en totalité; d'où il suit évidemment, que le laiton ne contient jamais de cadmium; tandis que dans la *tutie*, qui est le sublimé produit dans la fabrication du laiton, il doit nécessairement en exister, s'il y avait présence du cadmium dans la mine de zinc. L'alliage de cuivre et de cadmium est, suivant M. Stromeyer, un composé de

Cuivre	100	. . . .	8
Cadmium	82	. . . .	6,56

Il est probable, d'après ces nombres, que le véritable composé chimique de cuivre et de cadmium, est formé d'un atome de chacun de ces métaux. [1]

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, pages 463, 468 et 471; Phil. trans., 1818, page 126; Gilbert's Annalen, LZ, 208; et Annales de chimie et de physique, tome IX, page 244.

Du Mercure.

M. Donovan a dernièrement annoncé (*Annals of philosophy*, XIV, 244), qu'en mettant, tout d'une fois, une petite quantité de proto-chlorure de mercure avec une quantité considérable de lessive de potasse, on obtenait le protoxide de mercure à l'état de pureté, pourvu qu'on eût la précaution de séparer les globules de mercure métallique avec lesquels il est mécaniquement mêlé. Protoxide.

Lorsqu'on chauffe ensemble du mercure et du sélénium, les deux métaux se combinent; ce qui a lieu sans aucune production de lumière. Si le mercure est en excès, il est aisément séparé par la distillation; le séléniure reste dans la cornue en une masse cohérente, ayant la blancheur de l'étain. Ce séléniure ne se fond pas lorsqu'il est chauffé; mais il se sublime en lames blanches, avec éclat métallique. L'acide nitrique l'attaque à peine; cependant, en le faisant bouillir pendant long-temps dans cet acide, il est à la fin converti en un séléniate de mercure, sous la forme d'une poudre blanche. Si l'on verse sur cette poudre de l'acide hydro-chlorique, cet acide dissout le mercure, qu'il fait passer à l'état de peroxide, aux dépens de l'acide sélénique, et il reste du sélénium en une poudre rouge. L'acide nitro-muriatique dissout le sélénium de mercure, même sans l'aide de la chaleur. Séléniure.

Le mercure dissout le cadmium avec la plus grande facilité, même sans le secours de la chaleur. L'amalgame est d'un blanc d'argent, et cristallise en octaèdres. Sa pesanteur spécifique excède celle du mercure. Mis dans l'eau, à la température de 75° centigrades, il se fond. Cet amalgame de cadmium est composé de Amalgame avec cadmium.

Mercure	100 . . .	25
Cadmium	27,7778	6,94445

Or 25 est le poids d'un atome de mercure, et 7 celui d'un atome de cadmium; et, par conséquent, l'amalgame est évidemment un composé de 1 atome mercure + 1 atome cadmium.

Une expérience de M. Faraday, annoncée dernière- Évaporation

spontanée du mercure.

ment dans le Journal de l'institution royale, et qui a été plusieurs fois répétée avec le même succès, semblerait prouver que l'atmosphère de mercure de très-faible tension, qu'on reconnaît exister dans les extrémités supérieures des tubes des baromètres et des thermomètres, a également lieu dans ces tubes, alors même qu'ils ne sont pas vides d'air. M. Faraday procédait à cette expérience ainsi qu'il suit :

Dans un flacon de verre bien séché et nettoyé avec soin, pouvant contenir 180 grammes de mercure, il versait, à l'aide d'un entonnoir, assez de ce liquide pour former, sur le bord du flacon, une couche d'environ trois millimètres d'épaisseur, en prenant toutes les précautions convenables pour être bien assuré qu'aucune molécule de mercure n'adhérait intérieurement au flacon, près de son goulot. Il adaptait alors à la face intérieure du bouchon du flacon une feuille d'or battu, qui se trouvait ainsi, le bouchon étant en place, renfermée dans le flacon. Le tout ayant été transporté dans un lieu froid et obscur, après un laps de temps de six semaines de séjour dans ce lieu, les parois du flacon paraissaient être dans l'état primitif, sans aucun dépôt; mais on reconnut que la feuille d'or était blanchie par une certaine quantité de mercure; et comme on avait apporté le plus grand soin à empêcher que le mercure n'atteignît la feuille d'or autrement que par l'intermédiaire de l'atmosphère renfermée dans le flacon, on dut conclure, de la circonstance de la feuille d'or blanchie, qu'à des températures assez basses, le mercure se vaporise, lors même qu'il est soumis à la pression ordinaire de l'atmosphère. [1]

De l'Argent.

Oxide nouveau.

Lorsqu'on dissout dans l'ammoniaque l'oxide d'argent obtenu d'une dissolution de ce métal dans l'acide nitrique, précipitée par l'eau de chaux, et que la dissolution ammoniacale de l'oxide est exposée à l'air, il se ras-

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, 481, 490 et 492, Gilbert's Annalen, LX, 209 et Annales de chimie et de physique, tom. IX, page 247, et tom. XVI, page 77.

semble à sa surface une pellicule d'argent brillante, qui, étant recueillie, forme une poudre noire. M. Faraday, qui, le premier, a examiné cette poudre, a annoncé (Journal de l'institution royale, IV, 268) qu'elle contenait les 0,66 de l'oxigène qui existe dans l'oxide ordinaire; d'où il suit, que cette poudre noire est un composé de

Argent.	100
Oxigène.	4,8584

En répétant les expériences de M. Faraday, M. Thomson s'est assuré qu'elles sont exactes; et, par conséquent, il est disposé à considérer ce nouvel oxide noir d'argent, comme un composé de

3 atomes argent = 13,75, × 3 =	41,25
2 atomes oxigène = ...	2

Oxidation de l'argent pendant sa fusion.

M. Samuel Lucas a fait insérer (*Transactions de la société de Manchester*) les expériences suivantes qu'il avait entreprises sur l'argent à l'état de fusion, et dont il avait annoncé le résultat à M. Dalton.

1° Si, après avoir exposé à un courant de gaz oxigène, ou d'air atmosphérique, une grande quantité d'argent fondu, on laisse ce métal se refroidir par degrés, sa surface, devenue solide d'abord, se fendille ensuite, et laisse échapper en grande quantité, par ces ouvertures, une vapeur élastique qui, poussant devant elle une portion de métal fondu qui se solidifie aussi, forme autant de protubérances sur la surface du métal refroidie. Cette ébullition dure un quart d'heure, une demi-heure ou même davantage, suivant que l'on opère sur des quantités plus ou moins considérables de métal, ou selon que le refroidissement a lieu plus ou moins vite.

2° Si, au lieu de laisser le métal se refroidir par degrés, on le fait passer tout à coup à l'état solide en le jetant dans l'eau, les mêmes phénomènes ont lieu; il y a ébullition et dégagement de gaz oxigène; mais alors le métal

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 496, et Institution journal, IV. 268.

étant très-divisé et sa solidification subite, les protubérances sont proportionnellement plus petites et répandues avec plus d'uniformité sur la surface du métal.

3° En répandant, pendant quelques instans seulement, du charbon sur la surface de l'argent en fusion, ce charbon s'empare aussitôt de tout l'oxigène, et il ne se manifeste plus aucune ébullition, ni quand on laisse le métal se refroidir par degrés, ni lorsqu'on le jette dans l'eau.

4° Si, après avoir versé successivement et par petites quantités, de l'argent, amené par la coupellation à l'état de pureté parfaite, dans un vase contenant de l'eau, on plaçait chaque fois sur l'eau, immédiatement après y avoir versé l'argent, un flacon renversé, préalablement rempli d'eau et portant un entonnoir à son ouverture, le gaz oxigène, qui se dégageait du métal, passait dans le flacon et le remplissait bientôt; on avait eu soin de tenir constamment l'ouverture du flacon sous l'eau, de manière à éviter toute introduction d'air atmosphérique. Ce gaz oxigène du flacon contient, d'après l'analyse qui en a été faite par M. John Dalton, 86 ou 87 pour 100 d'oxigène.

M. Samuel Lucas, a cru pouvoir tirer, des résultats de ces expériences, la conclusion, 1° que l'argent pur, *à l'état de fusion*, a la propriété d'enlever une petite quantité d'oxigène, non-seulement à l'atmosphère, mais encore à d'autres corps; 2° que l'oxigène ainsi absorbé, reste uni à l'argent, tant que celui-ci est fluide, pourvu toutefois qu'une substance ayant plus d'affinité que ce métal pour l'oxigène ne se trouve pas en contact avec lui.

Ces expériences de M. Samuel Lucas, et le fait intéressant qu'elles semblaient établir, déterminèrent M. Chévillot à entreprendre de nouvelles recherches sur ce sujet; et comme, suivant lui, le phénomène s'appliquait à la théorie de la coupellation, c'est en employant les procédés de cet art, qu'il crut devoir faire ses expériences. Il tint en conséquence en fusion pendant vingt minutes, dans des coupelles et creusets placés au milieu de la moufle du fourneau de coupelle, et plongés sous une cloche pleine d'eau, des quantités de 9 et de 30 grammes d'argent, aux différens titres de 990, 995 et 952 mil-

lièmes, et il prit note des quantités de gaz oxigène que le métal, en se solidifiant, laissait dégager. Dans une de ces expériences, sur 30 grammes d'argent, au titre de 995 millièmes, ce métal fut mis dans un creuset recouvert de plusieurs petits fragmens de charbon, tenu en fusion pendant 30 minutes dans la moufle, et coulé sous une cloche pleine d'eau, il ne se dégagea que quelques bulles de gaz.

M. Chévillot continua ses essais sur de l'or, aux titres de 946 millièmes, sur du zinc, de l'antimoine, du bismuth, du plomb, du cuivre, de l'oxide de strontium, du deutoxide d'étain, du tritoxide de fer, et enfin sur de la chaux provenant du marbre blanc. Il chercha ensuite à déterminer quelle pouvait être la cause de la production de gaz oxigène qu'il avait reconnu que les coupelles laissaient dégager lorsqu'on les plongeait rouges de feu sous des cloches pleines d'eau.

De toutes ces expériences diverses, M. Chévillot conclut, 1° que leurs résultats confirment pleinement le fait annoncé de l'oxidation de l'argent par la fusion, au contact de l'air; 2° que parmi toutes les substances qu'il a examinées, il n'y a que l'argent qui possède la propriété de laisser dégager de l'oxigène par l'eau. Il ajoute à ces conclusions, que M. Samuel Lucas ayant vu une ébullition qui a duré une demi-heure et plus, à la surface de masses considérables d'argent qui se refroidissaient, et que d'ailleurs s'étant assuré lui-même qu'il suffit d'une très-petite quantité de cuivre pour empêcher l'oxidation de l'argent, on pourrait attribuer à l'oxidation de ce métal la difficulté qu'on éprouve à obtenir, sans végétation, l'argent fin passé à la coupelle. [1]

Chlorure

En employant fréquemment dans les laboratoires de chimie le nitrate d'argent comme réactif pour les chlorures et l'acide hydro-chlorique, il y a une quantité considérable de chlorure d'argent produite; si, comme cela a ordinairement lieu, on fond ce chlorure dans un creuset avec de la potasse pour en opérer la réduction, on

[1] Annales de chimie et de physique, tome XII, page 402, et tome XIII, page 299.

perd beaucoup d'argent; il est donc préférable de le mêler avec de la chaux et du charbon dans les proportions suivantes :

Chlorure d'argent.	100,0
Chaux vive, sèche.	19,8
Charbon.	4,2

Cependant comme il est nécessaire, pour le meilleur succès de cette réduction, que le chlorure ne soit pas en masse, mais en poudre, et bien mélangé avec les autres ingrédiens, on a imaginé un procédé qui, étant d'une exécution facile, ne peut donner lieu à aucune perte et convient également au chlorure d'argent en masse et en poudre.

Ce procédé consiste à mettre le chlorure dans un vase de zinc ou dans une petite marmite de fonte de fer, l'un et l'autre bien décapés, et à l'y recouvrir de deux ou trois centimètres d'eau. Alors la décomposition du chlorure s'opérera d'elle-même en peu de temps. Dans ce cas, elle commence d'abord, surtout avec le chlorure en masse, aux points de contact; mais elle s'étend bientôt sur toute la surface du chlorure sous la forme de ramifications, et pénètre dans son intérieur; de sorte qu'en moins d'une heure des morceaux considérables de chlorure sont entièrement réduits. La température, qui s'élèva beaucoup lorsqu'on opère sur d'assez grandes quantités, contribue à accélérer l'opération. Si cette température est trop faible, on peut y suppléer par une chaleur artificielle. [1]

Séléniure. Il y a lieu de conclure des expériences de M. Berzélius, que l'argent peut se combiner avec le sélénium en deux proportions. Lorsqu'on chauffe les deux métaux en contact, ils s'unissent avec dégagement de chaleur, et il y a formation d'un composé très-fusible, dont on peut séparer par la distillation l'excès de sélénium. Ce séléniure est gris; et, dans son état de fusion, sa surface est brillante et polie comme celle d'un miroir. Exposé à la chaleur, il se fond au-dessous de la température rouge.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 319.

C'est probablement un bi-séléniure ; on peut en dégager, par la chaleur, une partie de son sélénium, mais non la totalité. Ce séléniure est un peu malléable.

Lorsqu'on précipite une dissolution d'argent par le gaz hydrogène sélénié, on obtient une poudre noire, qui en séchant devient d'un gris foncé. Le séléniure exige pour se fondre une chaleur rouge, et il ne donne point de sélénium par la distillation. C'est probablement un proto-séléniure d'argent.[1]

De l'Or.

Faits pour l'histoire de l'or.

M. Pelletier ayant eu lieu de remarquer, dans quelques expériences qu'il avait faites il y a environ dix ans, conjointement avec M. Duportal, sur les préparations d'or alors usitées en médecine, plusieurs phénomènes dont il n'avait pu se rendre compte, il s'était proposé, dès cette époque, d'entreprendre de nouvelles recherches sur ce sujet ; et ce n'est que dans ces derniers temps qu'il a pu s'en occuper. Il s'est en conséquence livré à un travail important et très-étendu, dans lequel il a successivement examiné avec beaucoup de soin, savoir : l'action des acides minéraux sur les chlorures d'or ; l'action des acides sur l'oxide d'or ; l'action des sels sur le chlorure d'or ; l'action, sur ce chlorure, des bases salifiables (oxides métalliques), potasse, soude, baryte, magnésie ; et après avoir porté son attention sur les prétendus sels triples d'or, il termina son examen en soumettant ce métal à l'action de l'iode, et en cherchant à reconnaître celles qu'exercent sur le chlorure et l'oxide d'or quelques substances végétales, et spécialement les acides végétaux.

Des faits principaux que les essais de M. Pelletier sur l'or lui ont fait connaître, et qui par les résultats de ses nombreuses expériences lui paraissent être suffisamment établis, il croit pouvoir tirer les conclusions suivantes :

1° L'or doit être considéré comme un métal électro-négatif, c'est-à-dire comme donnant lieu à des oxides

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 500 ; et Annales de chimie et de physique, tome IX, p. 245.

qui ont plus de tendance à faire fonctions d'acides que fonctions de bases.

2° Les oxides d'or ne peuvent former avec les acides de véritables combinaisons salines.

3° Le peroxide d'or peut s'unir aux alcalis et à d'autres oxides métalliques, en formant des combinaisons qui jouissent de propriétés particulières.

4° L'or, dans sa dissolution nitro-muriatique, est à l'état de perchlorure.

5° Les prétendus sels triples d'or ne sont que des mélanges, dans lesquels l'or est encore à l'état de perchlorure.

6° L'or s'unit à l'iode, et forme un composé dont les proportions constantes et faciles à déterminer avec exactitude, ont été trouvées pour l'iodure d'or de

Iode.	34	100
Or	66	194,1176

De ces proportions de l'iodure d'or, on peut en inférer que celles des oxides d'or, des chlorures, etc., sont :

Pour le protoxide d'or, oxigène. . .	3,3495
Or	100, »
Pour le peroxide, oxigène.	10,03
Or	100 »

ou, en considérant le poids de la molécule d'or = 29,95, le poids de la molécule d'oxigène étant 1, et le nombre proportionnel de l'or indiqué en nombre rond à 299, l'oxigène étant 10, on aura

Or 299	10 oxigène,	protoxide.
	30 oxigène,	deutoxide.
	44 chlore,	proto-chlorure.
	132 clhore,	perchlorure.

8° Les acides et les sels végétaux ont sur le chlorure et l'oxide d'or des actions différentes, parmi lesquelles il faut distinguer celle de l'acide oxalique, parce que

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV. pag. 5 et 113.

cette action particulière tend à confirmer l'opinion de M. Dulong sur la composition de l'acide oxalique.[1]

Le nombre proportionnel de l'or, tel qu'il se déduit des expériences de M. Pelletier, étant fort différent de celui donné par M. Berzélius, devait nécessairement faire naître quelques doutes sur l'exactitude de sa détermination; pour les lever, M. Javal a entrepris de nouveau l'analyse de l'oxide d'or. Il résulte de ses expériences que, Observations.

100 parties d'or prennent 11,909 d'oxigène.
Et d'après M. Berzélius 100 parties d'or prennent 12,077.

Ces nombres, comme on voit, coïncident presque exactement, et doivent faire cesser toute incertitude.

M. Javal, après avoir fait voir de plus, par des raisonnemens, combien les preuves de M. Pelletier étaient insuffisantes pour révoquer en doute l'existence des sels triples d'or, l'a démontrée plus évidemment encore en faisant l'analyse du chlorure triple de potassium et d'or. D'après cette analyse on doit regarder cette substance comme formée de 1 atome de chlorure de potassium, 2 atomes de chlorure d'or et 2 atomes d'eau, ou sur cent parties, de

Chlorure de potassium. . . .	25,21
Chlorure d'or	68,71
Eau.	6,08
	100,00 [1]

Du Platine.

Le platine, réduit en poudre, s'unit aisément avec le sélénium, avec dégagement considérable de chaleur. Ce séléniure est gris, et n'a pas éprouvé de fusion. Au feu, le sélénium se combine avec l'oxigène, et se volatilise, laissant le platine pur. Lorsqu'on chauffe au rouge des séléniates dans des creusets de platine, ces vaisseaux sont attaqués, et deviennent d'un gris brunâtre. Mais si l'on Séléniure.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVII, page 337.

fait rougir les creusets sans les couvrir, le sélénium se volatilise. [1]

Union avec le cadmium.

L'alliage du platine et du cadmium est d'un blanc légèrement argentin. Il est grenu, avec une cassure conchoïde; il est très-cassant, très-fusible. Lorsqu'on en a séparé l'excès du cadmium par la chaleur, cet alliage est composé de

Platine	100
Cadmium	117,3

En supposant un atome de platine =22,625, l'alliage doit être composé de 1 atome platine et 4 atomes cadmium. Mais M. Thomson soupçonne que le véritable nombre pour l'atome de platine, est 12; et alors l'alliage serait un composé de 1 atome platine et 2 atomes cadmium. [2]

Avec le silicium.

M. J.-B. Boussingault, élève mineur, s'occupant, au laboratoire de l'école des mineurs de Saint-Étienne, d'essais sur la fusion du platine, plaça un gramme de ce métal parfaitement pur, dans un creuset de terre, et une même quantité dans un creuset brasqué, et recouvert de poussière de charbon. Ces deux creusets ayant été posés dans le fourneau à vent, et soumis, pendant trois heures, à un feu très-violent, il trouva que le platine du creuset non brasqué avait acquis un grand éclat, mais n'était pas fondu; que celui du creuset brasqué, au contraire, était en culot parfaitement fondu. Cette expérience fut répétée en mettant dans le creuset, sans charbon, de la limaille de platine, et 30 grammes de rognures de ce métal dans le creuset brasqué; les résultats furent les mêmes. Depuis ces essais, on a constamment réussi à fondre le platine dans des creusets brasqués, et la fusion s'y opérait beaucoup plus facilement lorsqu'on recouvrait le métal avec de la poussière de charbon.

M. Boussingault avait remarqué que le platine, en se fondant, avait un peu augmenté de poids; et comme sa

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 524; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 249.

[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 526; *Stromeyer, Gilbert's annalen*, LX, 209.

fusion n'avait lieu que dans le charbon, il dut penser que cette augmentation de poids ne pouvait être attribuée qu'à une combinaison du métal avec le carbone.

Le platine pur, fondu, est d'un blanc grisâtre, se laissant à peine entamer au couteau, et difficilement attaquable par la lime. Sa pesanteur spécifique est 20,5. A froid, il cède un peu sous le marteau; mais bientôt il se fend, et présente une cassure grenue; forgé au rouge cerise, il s'égrène; au rouge très-obscur, il s'aplatit d'abord légèrement, puis il se brise. Chauffé, et refroidi lentement, il n'éprouve aucun recuit.

Le platine fondu, exposé au vent du soufflet d'une forge, ne s'est nullement radouci; et ce moyen ne suffisant pas pour lui enlever le carbone qu'on lui supposait combiné, il fut cémenté, pendant une heure, dans de l'oxide de manganèse. Le culot cémenté n'ayant rien perdu de ses propriétés, et restant toujours intraitable, M. Boussingault commença à douter de la présence du carbone dans le platine fondu. Pour éclaircir ses doutes à cet égard, et s'assurer si, comme le fer, ce métal était susceptible de s'unir au carbone par cémentation, il stratifia dans un creuset des lames de platine, avec de la poussière de charbon de bois. Le creuset fut chauffé pendant quatre heures à une forte chaleur, ménagée cependant de manière à ne pas fondre le métal. Le platine, retiré du creuset, avait perdu en partie son éclat, et sa surface présentait des petites boursouflures. La pesanteur spécifique du platine cémenté est de 17,5 à 18. Il a acquis une assez grande dureté pour rayer facilement le platine pur, il raie même le fer; mais il n'attaque pas l'acier : il ne se durcit pas sensiblement par la trempe.

Dans la cémentation, comme dans la fusion, le platine augmente un peu de poids.

M. Boussingault, voulant alors examiner le platine fondu et cémenté, traita, par l'eau régale, 80 grammes de fonte de platine et de lames cémentées. La dissolution fut plus difficile que celle du métal pur; il ne se manifesta, pendant qu'elle s'opérait, aucune trace de charbon; mais on remarqua une gelée transparente, qui, recouvrant les morceaux de platine, en rendait la dissolution plus difficile. Après avoir fait agir l'acide pen-

dant long-temps, et en agitant sans cesse, on parvint à dissoudre presque en totalité le métal. Cette dissolution ayant été évaporée, et le chlorure dissous par l'eau, on obtint pour résidu une poudre blanche.

Cette poudre, traitée au creuset d'argent avec trois parties de potasse, se fondit facilement; et la masse, après refroidissement, fut entièrement soluble dans l'eau, à l'exception de quelques petits fragmens de platine, qu'on sépara par le filtre. En versant alors, dans la liqueur filtrée, quelques gouttes d'acide sulfurique, il s'y forma aussitôt un précipité blanc gélatineux.

Il est donc évident que la poudre blanche obtenue pendant la dissolution du platine fondu et cémenté, est de la silice; et cette terre peut être considérée comme étant, dans le métal, à l'état de silicium.

Il est très-probable, suivant M. Boussingault, que ce silicium provient du charbon de bois employé, et non du creuset; car il en prit un d'une assez grande capacité, et après l'avoir rempli de charbon fortement tassé, et placé au centre de cette brasque un morceau de platine, le métal se combinait au silicium, comme quand cette brasque était plus légère.

Pour juger ensuite de la quantité de silicium absorbée par le métal pendant sa fusion, on pesa exactement 5 grammes de platine, et on les fondit. Le culot pesait 5,025 grammes. 1 gramme de cette fonte donna à l'analyse 0,010 de silice. Si, dans la fonte de platine, la silice s'y trouvait à l'état de terre, on aurait dû obtenir, pour 1 gramme de fonte, 0,005 de silice; mais on en a eu 0,010 : il faut donc que, pendant la dissolution de la fonte de platine dans l'eau régale, le silicium ait absorbé 0,005 d'oxigène. En admettant ce résultat, la silice pourrait être considérée comme contenant la moitié de son poids d'oxigène. [1]

Cristallisation.

M. Sowerby, après avoir observé qu'il ne connaît pas qu'on ait encore rien appris de positif relativement à la cristallisation du platine, annonce, qu'en examinant récemment quelques échantillons de ce métal, il en aperçut plusieurs parcelles où la structure lamellaire était

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 5.

évidente et le sens du clivage distinct. L'une d'elles offrait de plus quatre faces formant l'angle solide d'un octaèdre. [1]

Du Palladium.

Le palladium et le sélénium s'unissent avec facilité et avec production de chaleur pendant la combinaison. Le composé est gris et cohérent, mais il n'a point éprouvé de fusion. Le séléniure étant traité au chalumeau, le sélénium est dégagé, et l'alliage se fond en un bouton métallique d'un blanc grisâtre, fragile et à cassure cristalline; d'où il suit qu'il contient encore du sélénium. [2] Séléniure.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV, page 111.
[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 531; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 248.

COMBUSTIBLES SIMPLES

INTERMÉDIAIRES.

De l'Antimoine.

Séléniure.

L'ANTIMOINE se combine aisément avec le sélénium, et cette combinaison produit de la chaleur. Le composé se fond et forme un bouton métallique à texture cristalline. Le séléniure, lorsqu'il est fortement chauffé à l'air, se recouvre d'une scorie vitreuse. [1]

Union avec le platine.

M. Fox a observé (*Annals of philosophy*, XIII, 467) que l'antimoine et le platine se combinent très-rapidement et avec ignition. Il pense que le platine, par son alliage avec l'antimoine, qu'on en sépare ensuite par la chaleur, peut être rendu suffisamment pur pour son emploi dans les manufactures. [2]

Du Chrôme.

Sulfure.

M. Lassaigne, s'occupant de recherches sur l'oxide de chrôme, essaya de plusieurs manières et sans succès de le décomposer par le soufre pour en opérer la combinaison avec ce corps; mais réfléchissant que la plupart des chlorures métalliques ont la propriété d'être décomposés par le soufre et convertis en sulfures, il crut devoir tenter ce nouveau moyen. En faisant bouillir ensemble de l'acide chromique et de l'acide hydro-chlorique en excès, et évaporant à siccité dans une capsule de porcelaine, il obtint, sous forme d'une masse boursouflée très-légère, un chlorure de chrôme d'un rose

[1] 6e édition de Thomson, vol. I, page 556; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 249.
[2] 6e édition de Thomson, vol. I, page 558.

hortensia. Après avoir alors mêlé ce chlorure, réduit en poudre, avec cinq fois son poids de fleurs de soufre, il introduisit le mélange dans un tube de verre recourbé, qui fut chauffé par degrés jusqu'au rouge blanc.

Il se dégagea d'abord un peu de gaz hydro-sulfurique, puis du gaz hydro-chlorique; l'excès du soufre se sublima ensuite avec une petite quantité de chlorure de chrôme rose; enfin, il se manifesta vers la fin de la calcination des vapeurs blanches très-épaisses, d'une odeur piquante désagréable, qui étaient du chlorure de soufre.

La partie inférieure du tube renfermait une matière très-légère d'un gris noirâtre, se réduisant en poudre avec la plus grande facilité; matière, que par plusieurs épreuves, M. Lassaigne s'assura être un véritable sulfure de chrôme.

Ce sulfure est gris noirâtre, onctueux au toucher; il laisse sur les corps contre lesquels on le frotte, des traces noires, brillantes comme la plombagine; chauffé au rouge cerise dans un creuset de platine, il brûle comme du pyrophore, en répandant une odeur très-vive d'acide sulfureux, et donnant naissance à un oxide de chrôme d'un vert foncé.

L'acide nitrique n'attaque pas sensiblement ce sulfure, même à l'aide de la chaleur; mais l'eau régale le convertit en acide sulfurique et en chlorure de chrôme vert.

Pour déterminer la composition de ce sulfure, M. Lassaigne le traita d'abord avec du nitrate de potasse. Le soufre et le chrôme étant alors convertis en acides sulfurique et chromique, il se forma du sulfate et du chromate de potasse; et en précipitant ensuite la dissolution, du résidu de leur calcination, par du nitrate acide de baryte, il déduisit, du sulfate de baryte obtenu, la quantité de soufre, et crut pouvoir conclure du résultat moyen de deux expériences, que le sulfure de chrôme, qu'il avait ainsi préparé, consistait dans :

Chrôme	100,00
Soufre.	10,54

Par suite de ces expériences, M. Lassaigne a trouvé

un procédé plus prompt et plus économique pour préparer l'oxide de chrôme d'une belle couleur verte, et qui s'obtient toujours au même degré d'intensité.

Ce procédé consiste à calciner au rouge, dans un creuset de terre fermé, un mélange à parties égales de chromate de potasse cristallisé, ou en masse, ce qui réussit également bien, et de soufre. On lessive ensuite la masse verdâtre qu'on obtient, pour dissoudre le sulfate et le sulfure de potasse, qui se sont formés pendant la calcination; l'oxide de chrôme se précipite, et au moyen de plusieurs lavages, on le met à l'état de pureté.*

Alliages du chrôme avec le fer et l'acier.

M. Berthier, ingénieur des mines, a fait, sur les alliages du chrôme avec le fer et avec l'acier, des expériences, dont les résultats lui ont donné lieu de conclure, qu'avec un minerai de fer chromé, on peut préparer un alliage très-riche en chrôme, en faisant fondre ce minerai au creuset brasqué avec 0,30 de chaux et 0,70 de silice, ou avec 1,00 de verre alkalin, ou mieux encore avec 0,40 de borax vitrifié; et que pour extraire le plus de chrôme possible d'un minerai de fer chromé, il faut ajouter aux fondans une certaine quantité d'oxide de fer.

Alliage avec le fer.

Avec l'acier.

M. Berthier a préparé l'alliage du chrôme avec l'acier en fondant de l'acier fondu de première qualité, cassé en très-petits morceaux, avec un alliage de fer et de chrôme. Il pense que c'est ainsi qu'on pourra préparer cet alliage en grand, en substituant l'acier cémenté à l'acier fondu. Il n'y aurait pas, suivant lui, d'avantage à remplacer l'alliage de fer et de chrôme par du minerai de fer chromé, mêlé avec de la poussière de charbon, parce que le verre terreux, que l'on met dans les creusets pour décaper les morceaux d'acier, et pour les préserver du contact de l'air, dissoudrait probablement la plus grande partie du minerai, et empêcherait sa réduction, ce dont on peut d'ailleurs faire l'essai.

M. Berthier annonce avoir préparé ainsi deux alliages d'acier fondu et de chrôme, l'un contenant 0,010 de chrôme, et l'autre 0,015; ces alliages se sont bien forgés tous les deux; on en a fait un couteau et un rasoir.

* Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 299.

dont les lames se sont trouvées très-bonnes, avec tranchant paraissant dur et solide. Ces lames, frottées avec de l'acide sulfurique, ont pris un beau damassé, agréablement veiné d'un blanc d'argent très-brillant, ressemblant beaucoup à celui qu'on obtient en alliant l'argent à l'acier. M. Berthier regarde comme probable, que les parties blanches sont du chrôme pur, sur lequel il est connu que les acides n'ont pas d'action; et il y a lieu de croire, suivant lui, que *l'acier chromé* sera propre à faire des lames de sabre damassées, solides, dures et d'un bon effet, et beaucoup d'instrumens de coutellerie fine.[1]

OXIDES NON-SALIFIABLES.

De l'Eau.

Eau oxigénée.

C'est à M. Thénard que la chimie doit l'importante découverte de la combinaison de l'oxigène avec l'eau, et la connaissance des propriétés extraordinaires que possède l'eau oxigénée.

Dans le compte que ce savant a successivement rendu à l'Académie des sciences de l'Institut de ses recherches et de ses expériences sur les acides et oxides oxigénés, il expose, qu'ayant eu lieu de remarquer l'influence de l'eau dans l'oxigénation des acides, il se trouva naturellement porté à s'assurer si l'eau seule ne serait pas susceptible de s'oxigéner; et il essaya d'opérer cette oxigénation au moyen de l'acide sulfurique oxigéné et de l'eau de baryte. Ayant, à cet effet, versé peu à peu de l'eau de baryte dans l'acide sulfurique oxigéné, en ayant soin d'agiter constamment la liqueur, il remarqua, qu'en approchant du point de saturation, l'effervescence qui, jusque-là n'avait pas été sensible, devenait assez vive, et que le sulfate de baryte se précipitait en flocons. La liqueur filtrée, après sa saturation complète, ne contenait plus ni acide sulfurique, ni baryte, et cependant elle renfermait beaucoup d'oxigène. M. Thénard crut pouvoir en conclure que l'eau est susceptible de s'oxigéner.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVII, page 55.

Ce savant ayant ensuite dirigé ses recherches sur l'eau dans son état d'oxigénation, il a jugé nécessaire d'en présenter les résultats avec les observations qu'elles lui ont donné lieu de faire, dans un mémoire que l'exposé de faits nouveaux si importans rend du plus grand intérêt.

M. Thénard annonce d'abord, dans ce mémoire, que, par eau oxigénée, il n'entend pas désigner la dissolution du gaz oxigène dans l'eau; mais, qu'il se sert provisoirement de cette expression pour désigner une tout autre combinaison, dont, jusqu'à présent, l'on n'a point observé d'analogue, en la considérant du moins sous le rapport des propriétés qui la caractérisent. Il y décrit ensuite la préparation de l'eau oxigénée; et après avoir traité de son analyse, il examine ses propriétés et celles des nouveaux produits que cette eau forme dans son contact avec certains corps.

Préparation de l'eau oxigénée.

On prépare l'eau oxigénée ainsi qu'il suit : Après avoir dissous du deutoxide de barium dans de l'acide hydrochlorique, et versé dans cette dissolution une certaine quantité d'acide sulfurique, on répète nombre de fois les deux opérations sur la même liqueur; c'est-à-dire, qu'à la première dissolution du deutoxide de barium dans laquelle on a versé de l'acide sulfurique, on ajoute un certain nombre de fois du deutoxide de barium, et ensuite de l'acide sulfurique. Dans cet état de la liqueur on y introduit du sulfate d'argent, et enfin de la baryte. Après avoir alors séparé par le filtre tous les précipités auxquels ont dû donner lieu les additions successives à la liqueur, d'acide sulfurique, de sulfate d'argent et de baryte, on a de l'eau chargée de beaucoup d'oxigène. Dans cette manière d'opérer, l'acide hydro-chlorique dissout promptement le deutoxide de barium, d'où résulte très-probablement de l'hydro-chlorate de baryte et de l'eau faiblement oxigénée. L'acide sulfurique s'empare de la base de l'hydro-chlorate, avec laquelle il produit dans la dissolution un précipité de sulfate de baryte; et l'acide hydro-chlorique, ainsi rendu libre, peut agir sur une nouvelle quantité de deutoxide de barium, introduite dans la liqueur, et dont on sépare de même ensuite la baryte; de sorte qu'en y ajoutant alternativement

du deutoxide de barium et de l'acide sulfurique, on parvient à obtenir une eau chargée d'acide hydro-chlorique et de plus ou moins d'oxigène. En mettant ensuite dans cette eau du sulfate d'argent, il se produit un chlorure d'argent, qui se précipite, et l'acide hydro-chlorique y est remplacé par l'acide sulfurique; et enfin, par une addition de baryte, on sépare en totalité ce dernier acide qui se précipite dans la liqueur en combinaison avec la baryte, et cette liqueur n'est plus en dernier résultat que de l'eau plus ou moins oxigénée. Mais on ne réussirait qu'imparfaitement dans ce procédé de préparation de l'eau oxigénée, si les matières dont il nécessite l'emploi n'étaient pas pures, et mises en proportion convenable. Et comme M. Thénard considère qu'il est très-difficile, sinon impossible, de se procurer du deutoxide de barium parfaitement pur, il a cru devoir indiquer, dans le plus grand détail, les précautions à prendre pour assurer le succès des opérations.

Préparation du deutoxide de barium.

Pour préparer le deutoxide de barium, il faut opérer d'abord avec du nitrate de baryte exempt de toutes matières étrangères; et l'on parvient à le rendre tel en ajoutant un excès de baryte à sa dissolution dans l'eau, et en faisant cristalliser la liqueur, après l'avoir filtrée, dans des vases de platine, d'argent ou de porcelaine. On décompose ensuite ce nitrate ainsi purifié par la chaleur, en se servant à cet effet, non d'une cornue de grès, qui contient trop d'oxide de manganèse, mais d'une cornue de porcelaine bien blanche. Cette opération, dont l'objet est d'extraire la baryte du nitrate de cette base, peut avoir lieu, suivant M. Thénard, sur une quantité de 2 kilogrammes à 2 kilogrammes et demi de nitrate de baryte à la fois, et l'on juge qu'elle est terminée lorsqu'il ne se dégage plus d'oxigène; ce qui se reconnaît facilement en introduisant une allumette dans le col de la cornue. La baryte, ainsi séparée du nitrate, reste bien unie à une quantité assez forte de silice et d'alumine; mais l'essentiel est qu'il ne s'y trouve que des traces d'oxide de manganèse, qui a la propriété de chasser avec une grande énergie l'oxigène de l'eau oxigénée.

On introduit alors la baryte, après l'avoir promptement réduite en morceaux de la grosseur de l'extrémité

du pouce, dans un tube de verre luté pouvant en contenir 1 kilogramme; et ce tube ayant été entouré de feu, de manière à le faire rougir légèrement, on y fait arriver un courant de gaz oxigène, après l'avoir fait passer à travers des fragmens de chaux vive pour le dessécher. Quelque rapide que soit le courant de ce gaz, il est complétement absorbé; de sorte que, lorsqu'il se dégage par le petit tube, qui doit faire suite à celui contenant la baryte, on en peut conclure que le deutoxide de barium est fait. Il convient cependant de maintenir encore le courant de gaz pendant 12 à 15 minutes. Le tube étant en grande partie refroidi, on en retire le deutoxide pour le conserver dans un flacon bouché.

Le caractère distinctif du deutoxide de barium est de se dilater par quelques gouttes d'eau, sans l'échauffer. Sa couleur est le blanc-gris, avec quelquefois aussi de petites taches vertes qui annoncent la présence d'un peu de manganèse. M. Thénard pense, d'après les tentatives qu'il a faites pour éviter ces taches, que la portion de manganèse qui les produit provient plutôt du tube de verre que de la cornue; et il croit pouvoir se persuader qu'elles ne disparaîtraient complétement qu'en préparant la baryte et le deutoxide dans des vases de platine.

Quant à l'oxigène qu'on fait passer sur la baryte pour la convertir en deutoxide de barium, M. Thénard fait observer, comme une remarque importante, que si on l'a extrait de l'oxide de manganèse, il faut faire en sorte que cet oxide ne contienne pas de carbonate. S'il y en existait, on aurait soin de l'en débarrasser, avant de s'en servir, en le mettant en contact, après l'avoir pulvérisé, avec un excès d'acide hydro-chlorique, en le lavant bien ensuite, et le faisant sécher. De plus, il conviendrait de faire passer l'oxigène à travers une dissolution de potasse caustique, et même de fragmens de pierre à cautère, pour acquérir la certitude qu'il n'arrive point d'acide carbonique jusqu'à la baryte; et cette précaution est d'autant plus nécessaire, que l'acide carbonique qui accompagnerait l'oxigène s'opposerait, en se combinant avec la baryte, à sa conversion en deutoxide de barium.

Précipitation de la baryte.

Pour opérer alors la dissolution du deutoxide de

barium par l'acide hydro-chlorique, on ajoute à cet acide pur et fumant de l'eau en quantité suffisante pour que l'acide, étendu de 2 décilitres, par exemple, de ce liquide, puisse dissoudre environ 15 grammes de baryte; et après avoir mis cette liqueur acide dans un vase maintenu constamment entouré de glace, on y introduit, après les avoir très-légèrement humectés, puis sucessivement broyés dans un mortier d'agate, ou de verre, et à mesure qu'ils sont réduits en pâte fine, 12 grammes du deutoxide. Ils s'y dissolvent promptement et sans effervescence, surtout par l'agitation. La dissolution étant complétement achevée, on y laisse tomber goutte à goutte de l'acide sulfurique pur et concentré jusqu'à ce qu'il y en ait un léger excès; ce qui se manifeste par la propriété qu'a le sulfate de baryte, qui se forme tout à coup, de se déposer facilement en flocons; et cette indication est celle du point auquel il convient d'arriver pour que la filtration de la liqueur se fasse ensuite avec la plus grande facilité. Lorsqu'il ne passe plus rien par le filtre, il faut verser sur ce qui reste une petite quantité d'eau distillée, qu'on réunit à la liqueur primitive; et même, pour ne rien perdre, on peut, après avoir étendu le filtre égoutté sur un plan de verre, enlever la matière, la délayer dans une très-petite quantité d'eau, et filtrer le tout. Les eaux, ainsi obtenues, étant peu chargées, servent pour laver ultérieurement les filtres. Ces opérations de la dissolution du deutoxide de barium par l'acide hydro-chlorique, et de la précipitation de la baryte par l'acide sulfurique étant terminées, on y procède successivement de nouveau et de la même manière, ainsi qu'on l'a déjà dit, jusqu'à ce que la liqueur soit assez chargée d'oxigène.

On peut, en employant la quantité d'acide hydrochlorique indiquée, traiter environ 90 à 100 grammes de deutoxide de barium; il en résulte une liqueur chargée de 25 à 30 fois son volume d'oxigène; si l'on voulait l'oxigéner davantage, il faudrait y ajouter de l'acide hydrochlorique. M. Thénard annonce être parvenu plusieurs fois, par ce moyen, à charger la liqueur de 125 volumes d'oxigène; mais alors il l'acidifiait assez tout de suite de manière à pouvoir y dissoudre 30 grammes de deutoxide,

en ayant soin de maintenir l'acidité au point de pouvoir encore, après cette première dissolution, y faire dissoudre 20 grammes de plus de deutoxide, sans l'intermède de l'acide sulfurique ; mais il a reconnu, qu'il n'y aurait pas d'avantage à opérer ainsi, en considérant la quantité de gaz que la liqueur laisse dégager du jour au lendemain, dès qu'elle renferme environ 50 volumes d'oxigène.

Lorsque la liqueur est chargée d'oxigène autant qu'on le désire, on la sursature de deutoxide en la tenant toujours dans la glace. Bientôt il s'en sépare en abondance des flocons de silice et d'alumine, ordinairement colorés en jaune par un peu d'oxide de fer et d'oxide de manganèse. On jette le tout sur un filtre de toile, on y enveloppe la matière pour l'y comprimer fortement, ce qui doit se faire très-promptement ; car, si peu qu'il y ait dans le résidu d'oxide de manganèse, cela suffit pour produire un dégagement assez considérable d'oxigène. Pour précipiter de la liqueur filtrée le peu de silice et d'oxide de fer et de manganèse qui aurait pu y être resté, on y ajoute, en l'agitant toujours entourée de glace, de l'eau de baryte goutte à goutte. Si, la baryte étant en excès légèrement sensible au papier de curcuma, il ne se produit point de précipité, c'est une preuve que tout l'oxide de fer, et tout l'oxide de manganèse sont séparés ; et, comme on ne peut trop vite isoler l'oxide de manganèse à raison de la quantité de gaz qu'il chasse de la liqueur, il faut, aussitôt l'addition suffisante de baryte, la filtrer le plus promptement possible en se servant à cet effet de plusieurs filtres à la fois et que souvent il faut employer en double pour suppléer au déchirement, par le gaz, du filtre simple.

Décomposition de l'acide hydro-chlorique.

Pour séparer alors l'acide hydro-chlorique de la liqueur dans cet état, on commence par en précipiter toute la baryte par un petit excès d'acide sulfurique, puis après l'avoir filtrée et entourée de glace, on y verse peu à peu, en l'agitant, du sulfate d'argent pur, obtenu au moyen de l'oxide d'argent et de l'acide sulfurique, mais préparé de manière qu'il ne contienne point d'oxide libre. Lorsque la quantité de sulfate d'argent employée, est assez grande pour que la décomposition de l'acide hydro-chlorique soit complète, la liqueur devient tout à coup limpide de trouble qu'elle était restée jusque-là ; mais, de même qu'il

importe que la liqueur ne contienne plus d'acide hydro-chlorique, il est nécessaire aussi qu'il n'y reste pas un excès de sulfate d'argent. Il conviendra donc de l'éprouver successivement et par le nitrate d'argent et par l'acide hydro-chlorique; ce qui peut se faire en mettant un peu de ces réactifs dans des tubes, et y ajoutant une goutte de la liqueur. Si, au lieu de traiter immédiatement la liqueur par l'oxide d'argent, il est recommandé de se servir de sulfate de ce métal, c'est qu'avec l'oxide d'argent on ne peut obtenir de l'eau oxigénée. Chaque fois en effet qu'on ajoutera une portion de cet oxide à la liqueur, il se produira une effervescence très-sensible, et l'on reconnaîtra, qu'en dernier résultat, la liqueur filtrée ne retiendra pas d'oxigène.

Précipitation de l'acide sulfurique.

Actuellement l'acide hydro-chlorique ayant été remplacé dans la liqueur par l'acide sulfurique, il reste à lui enlever celui-ci. A cet effet, après avoir versé cette liqueur dans un mortier de verre, entouré de glace, on y ajoute peu à peu de la baryte éteinte, bien délitée et réduite en poudre fine, ou plutôt de la baryte cristallisée, desséchée par l'acide sulfurique dans le vide et bien broyée. On la broie de nouveau dans le vase de verre, et lorsqu'on juge qu'elle est unie à l'acide, on en ajoute une autre partie, etc. Enfin, lorsque la liqueur rougit à peine le papier de tournesol, on la filtre, on comprime le filtre dans une toile, et l'on achève la saturation de la liqueur filtrée, en l'agitant, par de l'eau de baryte; il convient même d'ajouter de cette eau en très-petit excès pour séparer des traces de fer, et surtout de manganèse que la liqueur pourrait contenir encore. Il faudra, ainsi qu'on l'a déjà observé, que la filtration soit faite immédiatement après. L'excès de baryte sera ensuite précipité par quelques gouttes d'acide sulfurique faible; et de manière qu'il reste plutôt dans la liqueur un peu d'acide que de baryte; celle-ci tendant à dégager l'oxigène, tandis que l'acide rend la combinaison plus stable.

Condensation de la liqueur.

Après toutes ces opérations, la liqueur claire ne devant plus être considérée que comme de l'eau oxigénée étendue d'eau pure, on la versera dans un vase de verre à pied, et bien propre, qui sera placé dans une large capsule remplie aux deux tiers d'acide sulfurique con-

centré, et le tout ayant été introduit sous la cloche pneumatique on fera le vide. L'eau pure ayant beaucoup plus de tension que l'eau oxigénée, se vaporisera bien plus rapidement; de telle sorte, par exemple, qu'au bout de deux jours la liqueur pourra contenir 250 fois son volume d'oxigène.

L'acide hydro-chlorique n'est pas le seul acide capable d'agir sur le deutoxide de barium, de manière à former un sel de baryte et de l'eau oxigénée. Tous les acides qui peuvent dissoudre la baryte, ont encore cette propriété; mais l'acide hydro-chlorique doit être employé de préférence comme étant celui qui attaque le mieux le deutoxide de barium, et parce que presque tous les autres seraient très-difficiles à séparer complétement de l'eau oxigénée.

Il est aussi d'autres oxides que le deutoxide de barium, qui, mis en contact avec les acides, produisent de l'eau oxigénée: tels sont les peroxides de *potassium*, de *sodium*, de *strontium*, de *calcium*, et quelques autres encore. Mais il n'est pas possible de s'en servir, non-seulement parce qu'on ne peut pas parvenir à les séparer complétement de la liqueur oxigénée, mais encore parce que leur préparation présente de grandes difficultés.

Ainsi jusqu'à présent, le procédé qui vient d'être décrit est le seul au moyen duquel on puisse se procurer une quantité notable d'eau oxigénée.

Pour conserver le plus long-temps possible l'eau oxigénée, il faut, après l'avoir versée dans un long tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, boucher avec du liége l'autre extrémité de ce tube et l'entourer de glace. Pourvu qu'on mette les vases à la cave, dans l'été, et qu'on les recouvre d'une cloche, la quantité de glace fondue en un jour est très-petite.

Analyse de l'eau oxigénée.

L'analyse d'une eau oxigénée consiste à la transformer en eau et en gaz oxigène pur; ce qui peut se faire, ou par l'action de la chaleur, ou au moyen de l'oxide noir de manganèse, qui a la propriété de dégager l'oxigène de cette eau, sans en absorber et sans en abandonner la plus petite portion. M. Thénard, qui fit usage de l'un et de l'autre de ces deux modes d'analyse de l'eau oxigénée, y procédait ainsi qu'il suit :

Il fait observer d'abord, qu'en opérant au moyen de la chaleur, il convient d'étendre l'eau oxigénée d'une certaine quantité d'eau distillée, parce que le dégagement du gaz d'une eau saturée d'oxigène est si brusque et si considérable, qu'il pourrait en résulter quelque danger.

Après avoir pesé à une bonne balance une ampoule de verre à deux pointes et bien sèche, il y introduisait de l'eau oxigénée pure, en faisant plonger dans cette eau l'une des pointes de l'ampoule, et aspirant lentement l'air par l'autre; puis il fermait, à la flamme d'une allumette, l'extrémité de la pointe par laquelle l'eau oxigénée était entrée dans l'ampoule, qu'alors il pesait de nouveau; la différence des deux poids lui donnait exactement celui de l'eau oxigénée.

Pour ajouter ensuite de l'eau à cette eau oxigénée, avant de la soumettre à l'action de la chaleur, il la faisait écouler en brisant l'extrémité de la pointe inférieure de l'ampoule, dans un verre contenant de l'eau distillée. Après avoir alors lavé par aspiration, l'ampoule elle-même, d'abord avec l'eau du verre, puis avec d'autre eau, il versait le tout dans un flacon d'un poids connu. Il lavait ensuite le verre, et cette eau de lavage étant ajoutée à la liqueur dans le flacon, il le pesait; la différence des deux poids, du flacon vide et de ce flacon avec la liqueur, lui donnait le poids de celle-ci. En retranchant après cela, le poids déjà connu de l'eau oxigénée, l'excédant était celui de l'eau unie à cette eau oxigénée.

Pour faire subir ensuite à l'eau oxigénée, ainsi étendue, l'action de la chaleur, après en avoir rempli, comme dans l'opération précédente, une ampoule à deux pointes, cette ampoule fut introduite, ses deux pointes étant hermétiquement fermées, dans un tube de verre renversé, de 48 centimètres de long, et de 2 centimètres de diamètre intérieur, bouché à son extrémité inférieure, et rempli de mercure. Alors, au moyen d'une baguette restée dans le tube, l'ampoule ayant été brisée, on chauffa de suite la liqueur en l'entourant de charbons maintenus à une certaine distance dans une galerie circulaire de fil de fer, qu'un manche, également formé de fil de fer, permettait d'élever ou d'abaisser à volonté; et après avoir

continué de chauffer la liqueur, non-seulement jusqu'à ce qu'elle ne laissât plus dégager de gaz, mais encore jusqu'à ce qu'elle eût été portée à plusieurs reprises à l'état d'ébullition, il fut reconnu que tout l'oxigène avait repris l'état gazeux. Le gaz ayant été mesuré à la manière ordinaire, et M. Thénard ayant cru devoir en faire l'essai par l'hydrogène, il le trouva constamment pur à un demi centième près.

On procède de même dans l'autre moyen d'analyse, avec la seule différence que l'ampoule étant brisée dans le tube, on introduit successivement au haut de ce tube quelques gouttes de dissolution de potasse caustique faible et un peu d'oxide de manganèse délayé dans l'eau; on ferme quelque temps après le tube avec la main, et, en l'agitant en divers sens pour multiplier les points de contact entre la liqueur et l'oxide, il ne reste plus qu'à mesurer le gaz. L'objet de l'addition de la potasse est de saturer la très-petite quantité d'acide que peut contenir la liqueur oxigénée acide; lequel, s'il restait libre, dégagerait un peu d'oxigène de l'oxide de manganèse lui même.

M. Thénard, ayant ainsi fait l'analyse d'eaux oxigénées d'une densité de 1,415, et de densité comprise entre celles de 1,415 et 1,452, il reconnut que l'eau de cette dernière densité de 1,452 est la plus dense, et par conséquent la plus chargée d'oxigène qu'il ait pu obtenir; car, après l'avoir tenue encore pendant deux jours sous la machine pneumatique, il trouva, qu'au bout de ce temps, elle avait la même densité de 1,452, quoique son volume fût diminué d'une manière très-sensible. L'analyse de cette eau donna, sur 0,864 gram., 0,398 gram. oxigène, et 0,466 gram. eau pure; et, comme cette quantité d'eau pure contiendrait 0,411 gram. d'oxigène, en admettant que dans l'eau, le poids de l'oxigène est à celui de l'hydrogène comme 88,29 à 11,71, M. Thénard en conclut, que dans l'eau oxigénée de la densité de 1,452, la quantité d'oxigène ajouté, était à la quantité d'oxigène constituant de l'eau, à peu près comme 40 à 41, c'est-à-dire que ces quantités seraient à peu près égales.

Il résulte, suivant M. Thénard, de ses analyses d'eaux

oxigénées de densités différentes, et surtout de celle de l'eau oxigénée dont la densité est de 1,452, que l'eau la plus oxigénée peut être considérée comme un peroxide d'hydrogène, contenant, relativement à la même quantité d'hydrogène, deux fois autant d'oxigène que l'eau ordinaire; et toutes les fois que l'eau oxigénée ne contient pas cette quantité d'oxigène, on peut la regarder comme un mélange d'eau pure et de peroxide d'hydrogène. M. Thénard ajoute, qu'il serait possible cependant qu'il y eût un degré d'oxigénation inférieure, et il serait même, d'après quelques observations, disposé à le soupçonner, mais c'est un point à éclaircir par de nouvelles expériences.

Propriétés de l'eau oxigénée de la densité de 1,452.

L'eau chargée d'oxigène au point d'avoir acquis une densité de 1,452, et qui, dans cet état, est un *peroxide d'hydrogène*, est liquide et incolore comme l'eau; elle n'a pas sensiblement d'odeur; elle attaque l'épiderme instantanément et y cause des picotemens, dont la durée varie, suivant la quantité appliquée à la peau. Si cette quantité est trop grande, ou si le liquide est renouvelé, la peau elle-même est attaquée et détruite. Appliquée sur la langue, cette eau la blanchit et la picote aussi; elle épaissit la salive, et produit sur l'organe du goût, une sensation difficile à exprimer, mais qui se rapproche beaucoup, suivant M. Thomson, de celle du tartre émétique (tartrate de potasse et d'antimoine). Son action sur l'oxide d'argent est des plus violentes. Chaque goutte de cette eau qu'on laisse tomber sur cet oxide sec, produit une véritable explosion; et elle donne lieu à un dégagement de chaleur tel, que si l'expérience se fait dans l'obscurité, il y a développement très-sensible de lumière. Les peroxides de manganèse et de cobalt, les oxides de plomb, de platine, de palladium, d'or, d'iridium, etc., agissent aussi très-vivement sur l'eau oxigénée, peroxide d'hydrogène. Plusieurs métaux, tels, par exemple, que l'argent, le platine, l'or, l'osmium, l'iridium, le rhodium, le palladium, lorsqu'ils sont réduits en poudre fine, produisent le même effet. Dans tous les cas, c'est l'oxigène uni à l'eau, qui est dégagé, et quelquefois avec celui de l'oxide. Mais lorsque le peroxide d'hydrogène est mis en contact avec l'arsenic, le molybdène, le tungstène, et le

sélénium, ces corps s'unissent avec son oxigène, et sont souvent acidifiés avec production de lumière. L'addition d'un peu d'acide au peroxide d'hydrogène, le rend d'une décomposition moins facile. L'or, à l'état de poudre fine, agit avec une grande force sur le peroxide d'hydrogène; mais son action sur ce liquide est nulle, s'il est mêlé avec un peu d'acide sulfurique. La fibrine, le tissu du poumon, le tissu de la rate, le tissu du cœur, etc., ont aussi la propriété de dégager la seconde dose d'oxigène du peroxide d'hydrogène; mais l'albumine liquide, l'albumine coagulée, la colle de poisson, la gelée de colle, l'urée et l'acide muriatique sont sans action sur ce liquide.

M. Thomson conclut, de ce que le peroxide d'hydrogène contient, suivant M. Thénard, justement deux fois autant d'oxigène que l'eau, que c'est un composé de

	atomes.	
Hydrogène. .	0,125, ou en poids	1
Oxigène. . . .	2,000.	» 16

d'où il suit, que l'eau à environ 4,5 degrés centigrades, doit absorber 666 son volume d'oxigène pour être convertie en eau oxigénée de la densité de 1,452, ou peroxide d'hydrogène.

Le peroxide d'hydrogène, ce composé important, est, ajoute M. Thomson, connu depuis trop peu de temps pour qu'il ait encore pu être complétement examiné; mais ce qui ne lui semble pas douteux, c'est que la propriété qu'a la vapeur de chlore de blanchir, dépend en réalité de la formation d'une petite quantité de peroxide d'hydrogène. Le chlore décompose probablement une portion de l'eau, et s'unit avec son hydrogène, tandis que l'oxigène se combinant avec une portion d'eau, la convertit en peroxide d'hydrogène.[1]

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome IX, page 314, tome X, page 114, et tome IX, page 85. — Traité de chimie de Thénard, tome I; 6e édition de Thomson, vol. I, page 220; *Annals of philosophy*, XIV, pag. 209 et 275.

Nota. M. Thomson fait mention, dans sa sixième édition, de la découverte, par M. Thénard, de l'eau oxigénée, à la section qui traite de l'hydrogène, et comme deutoxide de ce principe. J'ai pensé

M. Mérimée a dernièrement fait connaître un des bons effets de l'application de l'eau oxigénée à la restauration des dessins gâtés par l'altération du blanc de plomb. Application de l'eau oxigénée.

Un artiste français des plus distingués était possesseur d'un beau dessin de Raphaël, mais malheureusement endommagé par des taches noires qui se trouvaient dans les parties rehaussées de blanc. M. Thénard ayant eu connaissance de ce fait, se rappela que parmi les nombreux phénomènes que lui avait présentés sa découverte de l'eau oxigénée, il avait remarqué la propriété qu'elle a de convertir instantanément le sulfure noir de plomb en sulfate qui est blanc. Il remit, en conséquence, à l'artiste, de l'eau très-faiblement oxigénée, ne contenant au plus que 5 à 6 fois son volume d'oxigène, et il suffit de quelques coups de pinceau de cette eau pour enlever toutes les taches. Le papier, coloré par une légère teinte de bistre, ne fut en aucune manière altéré, et le dessin se trouva ainsi parfaitement restauré sans que la plus petite touche y eût été ajoutée.[1]

MM. Berzélius et Dulong avaient eu, chacun de leur côté, quelques raisons de soupçonner que la valeur du rapport du poids des élémens de l'eau, généralement adoptée depuis quelques années comme à l'abri de toute objection, était affectée d'une légère erreur; et ayant également considéré l'un et l'autre de quelle importance il était de vérifier le fait, ils se décidèrent à entreprendre ensemble les expériences qui leur paraîtraient les plus propres à éclaircir leurs doutes. Nouvelle détermination des proportions de l'eau.

Dès que la vérité, que l'eau résulte de la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, eut été bien établie, la détermination des proportions de ces élémens du li-

---

qu'il pouvait être plus convenable de parler de cette découverte à l'article *Eau*, puisqu'elle résulte de recherches sur la combinaison de l'oxigène avec ce liquide, et sur les propriétés de l'eau oxigénée. Je regrette que l'étendue trop limitée de ce supplément ne m'ait pas permis d'y présenter dans son entier le mémoire de M. Thénard, où se trouve exposé dans son ensemble, et de la manière la plus claire et la plus précise, son travail sur cet objet important. Cependant, j'ai cru indispensable, au moins, d'en extraire, pour l'ajouter à ce que dit M. Thomson des propriétés du deutoxide d'hydrogène, ce qui a rapport à la manière de préparer l'eau oxigénée, et aux moyens d'en faire l'analyse. R.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 221.

quide ne devait plus consister que dans la connaissance du rapport de leurs volumes, et celle de leurs pesanteurs spécifiques. Ce fut à l'aide de l'eudiomètre de Volta, moyen auquel on avait, avec raison, jugé devoir accorder le plus de confiance, que MM. Gay-Lussac et de Humboldt firent connaître, dans leur beau mémoire sur l'eudiométrie, les véritables proportions en volume des principes de l'eau; et leurs pesanteurs spécifiques avaient été établies par les recherches faites avec le plus grand soin par MM. Biot et Arago, sur la mesure des pesanteurs spécifiques des principaux gaz.

S'il y avait erreur dans la détermination, déduite de ces résultats, de 1,327 pour le nombre proportionnel de l'hydrogène, cette erreur ne pouvait tenir qu'à la pesanteur spécifique de l'hydrogène, ou à celle de l'oxigène, ou à toutes les deux à la fois.

Pour obtenir, avant tout, la confirmation de leurs doutes à cet égard, MM. Berzélius et Dulong ont eu recours, de préférence, au moyen simple, et tout à la fois le plus exact et le plus commode, de la décomposition d'un oxide par l'hydrogène, en prenant toutes les précautions convenables pour se procurer du gaz hydrogène bien pur. A cet effet, un courant de gaz hydrogène, développé par l'action de l'acide sulfurique étendu d'eau sur du zinc, se purifiait en passant sur des fragmens de potasse caustique légèrement mouillés, et se desséchait ensuite en traversant du muriate de chaux. Il arrivait ainsi en contact avec de l'oxide de cuivre desséché et renfermé dans un tube adapté à l'appareil au moyen de deux petits tuyaux de gomme élastique; ce qui permettait d'en prendre très-exactement le poids avant et après l'expérience. Lorsque le gaz avait passé en quantité suffisante pour chasser l'air atmosphérique, on chauffait l'oxide au moyen d'une lampe à esprit-de-vin. On reçut d'abord à l'état liquide dans un petit récipient adapté à l'extrémité du tube qui contenait l'oxide, la plus grande partie de l'eau formée, et dans laquelle MM. Berzélius et Dulong ne purent découvrir aucune impureté; dans d'autres expériences, le liquide et le gaz excédant, passaient à travers une longue colonne de muriate de chaux fondu. Les résultats obtenus, à plusieurs reprises, dans l'une

et l'autre de ces manières de procéder, s'éloignent très-peu l'un de l'autre; ce qui, l'eau ayant été reconnue parfaitement pure, porte MM. Berzélius et Dulong, à considérer comme l'expression aussi exacte que possible de la composition de ce liquide, les nombres suivans, savoir :

Nos des expér.	Perte de poids de l'oxide de cuivre par oxig. de l'eau.	Augmentation du poids du muriate de chaux ou poids de l'eau.	Poids de l'hydrogène combiné avec 100 d'oxig.	Proportions des élémens de l'eau dans un poids = 100.	
1	8,051	9,052	12,434	oxig. 88,942	hyd. 11,058
2	10,832	12,197	12,601	88,809	11,191
3	8,246	9,270	12,418	88,954	11,046
		Moy.	12,488	M. 88,9	11,1

Le terme moyen de ces résultats donne 12,488 d'hydrogène pour 100 d'oxigène, au lieu de 13,27, nombre adopté; ce qui fait presque un douzième de différence.

Ces résultats ne laissant plus à MM. Berzélius et Dulong aucun doute sur la réalité de l'erreur qu'ils avaient soupçonnée, ils s'occupèrent des moyens d'en rechercher la cause, en prenant de nouveau les densités de l'oxigène et de l'hydrogène. Il leur parut très-probable que celle de l'erreur, qui, dans les expériences de MM. Biot et Arago, affectait le nombre par eux trouvé pour la densité du gaz hydrogène, devait être attribuée à ce qu'à l'époque où ils les firent il n'était pas connu, ce que M. Dalton a prouvé depuis, qu'un gaz quelconque, insoluble dans l'eau, ne peut pas séjourner sur ce liquide, même pendant un temps assez court sans s'imprégner d'une certaine quantité du mélange gazeux, que l'eau tient toujours en dissolution; circonstance qui doit particulièrement influer d'une manière plus sensible sur le gaz hydrogène que sur tout autre, à raison de sa légèreté et de ce qu'il est plus susceptible aussi de s'altérer plus rapidement par son séjour sur l'eau.

MM. Berzélius et Dulong parvinrent à se garantir de l'effet de cette circonstance en recouvrant la surface de l'eau dans l'intérieur de la cloche, d'une couche d'huile fixe de deux ou trois centimètres d'épaisseur, l'échange des gaz se faisant plus difficilement à travers ce liquide. Ils opérèrent sur des gaz desséchés et sur des gaz saturés d'humidité, ce qui peut indifféremment se faire de l'une ou de l'autre manière, lorsque surtout la température de l'atmosphère n'est pas trop élevée. MM. Berzélius et Dulong reconnurent cependant que leurs observations relativement aux gaz privés d'eau, s'accordaient mieux entre elles. Il leur parut préférable de prendre le poids du ballon vide immédiatement après chaque pesée du ballon plein, par la considération qu'il suffit de quelques minutes pour faire le vide, et qu'à moins de circonstances bien rares, on peut supposer que dans ces intervalles si courts de temps, les conditions de l'atmosphère restent invariables. Les résultats des observations ainsi faites par MM. Berzélius et Dulong, comprennent, outre l'oxigène et l'hydrogène, l'azote et l'acide carbonique. On faisait passer l'oxigène extrait du chlorate de potasse à travers une forte dissolution de potasse caustique pour se débarrasser de toute quantité d'acide carbonique, qui aurait pu provenir de quelques parcelles de matière végétale. Le gaz hydrogène était obtenu par les moyens ci-devant indiqués; le gaz acide carbonique, dégagé du marbre blanc par l'acide nitrique, traversait, avant d'arriver dans la cloche, une longue colonne de sous-carbonate de soude cristallisé et pulvérisé. Enfin, l'azote provenait de la décomposition de l'ammoniaque par le chlore, en faisant passer successivement le gaz dans une liqueur acide et dans une dissolution de potasse.

1° *Gaz parfaitement secs.*

Nom du gaz.	Temp. du gaz.	Élasticité du gaz.	Tension de l'air restant.	Poids du ballon plein.	Poids du ballon vide.	Poids du gaz 20° et 20m,76
Air atmos.	20°,5	0,75655	0,0044	741,798	731,730	10g,995
Id.	*Id.*	0,7575	0,0044	741,81	731,733	10,993
Oxigène.	21°,5	0,7635	0,0044	742,765	731,605	12,122
Acide car.	18°	0,7550	0,0044	747,175	731,720	16,760
Id.	*Id.*	0,7662	0,0044	747,225	731,540	16,760

Poids moyen de l'air = 10,994.
Pes. spéc. de l'oxigène = 1,1026.
De l'acide carbonique, 1,5245.

2° *Gaz saturés d'humidité.*

Air atmos.	8°,8	0,7587	0,0022	949,915	941,165	9,1358
Oxigène.	10°,7	0,7458	0,0022	950,573	941,170	10,0743
Hydrog.	6°.	0,7541	0,0022	941,805	941,140	0,6276

Pes. spéc. de l'ox. = 1,1027; pes. spéc. de l'hyd. = 0,0687.

3° *Gaz saturés d'humidité.*

Air atmos.	**8°,83**	**0,7635**	**0,0022**	**842,562**	**836,583**	**6,2028**
Azote. . .	**8°,56**	**0,7472**	**0,0022**	**842,28**	**836,565**	**6,0521**

Pes. spécif. de l'azote. = 0,976.

Pesant. spécif. d'après les expériences de MM. Berzélius et Dulong.	Pesant. spéc. d'après MM. Biot et Arago.
Oxigène. 1,1026	1,10359
Hydrogène. . . . 0,0688	1,07321
Acide carbonique 1,524	1,519
Azote. 0,976	0,969

La plus grande différence que présente cette détermination de pesanteurs spécifiques entre les résultats de MM. Berzélius et Dulong, et ceux de MM. Petit et Arago, est relative à la densité de l'hydrogène ; ce qui confirme l'opinion des premiers sur la cause à laquelle ils présumaient que cette différence pouvait être attribuée. L'excès du nombre par eux trouvé pour l'acide carbonique, quoique assez faible, influe cependant d'une manière sensible sur la densité de la vapeur de carbone à cause de la légèreté de celle-ci ; et, suivant MM. Berzélius et Dulong, cette nouvelle détermination paraît s'accorder mieux avec les résultats de l'analyse des substances végétales. Enfin, la densité de l'azote, telle qu'elle est déterminée par les expériences de MM. Berzélius et Dulong, se rapproche davantage de celle que l'on déduit de la composition des nitrates ; et, en effet, 100 de protoxide de plomb, contiennent 7,171 d'oxigène ; 100 de nitrate de plomb sont formés, suivant M. Berzélius, de 67,31 oxide de plomb, et 32,69 acide nitrique ; or, en admettant, pour la densité de l'oxigène, 1,1026, cette analyse donnerait 0,977 pour la densité de l'azote.

D'après cette nouvelle détermination des élémens de l'eau par MM. Berzélius et Dulong, ces savans ont cru devoir présenter le tableau suivant des densités et proportions en poids de plusieurs composés, calculées d'après les bases par eux établies, en annonçant que les nombres qui y sont portés doivent être préférés à ceux obtenus par des analyses directes, sans lesquelles on peut très-rarement arriver au degré d'approximation auquel il est possible d'atteindre pour les gaz qu'ils ont examinés.

Noms des substances.	Densités, l'air atm. = 1.	Poids de l'atome, l'ox. = 100.	Proportions en poids.			
Oxigène. . . .	1,1026	100				
Hydrogène. .	0,0688	6,244				
Azote.	0,976	88,518				
Vap. de carb.	0,4214	38,218				
Acide carb. . .	1,524	138,218	Oxig. .	72,35.	Car.	27,65
Ox. de carb. .	0,9727	88,218	*Id.* . .	56,68.	*Id.*	43,32
Gaz oléifiant. .	0,9804	88,924	Hyd. .	14,035.	Car.	85,965
Gaz des marais	0,5590	50,706	*Id.* . .	24,615.	Car.	75,385
Vap. d'eau. . .	0,620	56,244	Ox. . .	88,9.	Hyd.	11,1
Ox. d'azote. .	1,5273	188,518	Ox. . .	36,097.	Az.	63,903
Gaz nitreux. .	1,001	94,259	*Id.* . .	55,069.	*Id.* .	44,931
Ac. hyp. nitr.	»	477,036	*Id.* . .	62,888.	*Id.* .	37,112
Acide nitreux.	3,1812	288,518	*Id.* . .	69,320.	*Id.* .	30,680
Ac. nitr. sec. .	»	677,036	*Id.* . .	73,842.	*Id.* .	26,158
Ac. nit. conc.	»	902,012	Ac. sec.	75,059.	Eau	24,941
Ammoniaque.	0,5912	53,884	Hyd. .	17,287.	Az. .	82,713
So-car. d'am.	»	122,993	Ac. car.	56,190.	Am.	43,810
Cyanogène . .	1,8187	164,954	Carb.	45,339.	Az. .	53,661
Ac. hyd. cyan.	0,9438	85,597	Carb.	44,65.	Hyd.	3,645
			Az.	51,705.		
Vap. d'alcool.	1,6004	»	Carb.	52,661.	Hyd.	12,896
			Ox.	34,443.		
Vap. d'éther. .	2,5808	»	*Id.* . .	65,313.	Hyd.	13,329[1]
			Ox.	21,358.		

M. Jacob Perkins ayant reconnu par plusieurs expériences ingénieuses faites en pleine mer, que l'eau est un Compressibilité de l'eau.

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV, page 386.

Nota. On a vu que, d'après l'analyse faite par M. Thénard d'une eau oxigénée dont la densité était de 1,452, cette eau consistait dans 0,398 gram. d'oxigène et 0,466 gram. d'eau pure; d'où ce savant avait conclu, que dans l'eau oxigénée de 1,452 de densité, la quantité d'oxigène ajouté serait à la quantité d'oxigène constituant de l'eau à peu près comme 40 à 41. Mais ce calcul était établi dans l'hypothèse de 88,19 d'oxigène et de 11,71 d'hydrogène, en poids, pour la constitution de l'eau; et cette constitution devant être, suivant MM. Berzélius et Dulong, de 88,90 oxigène et 11,10 hydrogène, il s'ensuit que le rapport deviendrait celui de 40 à 41,32. R.

fluide susceptible de compression, a déterminé, à son arrivée en Angleterre, la quantité de cette contraction. Il a, dans cette vue, employé un appareil nommé *piézomètre*, qui consiste en un petit tube de fer fermé à l'une de ses extrémités; on y introduit l'eau par l'extrémité ouverte au moyen d'un petit orifice fermé par une soupape très-sensible, ouvrant de dehors en dedans. Le tube ayant été exactement rempli d'eau (dont on connaissait le poids) fut porté sous une presse hydraulique, et soumis à une pression de 326 atmosphères; retiré et pesé, on trouva une augmentation de poids de 3 et demi pour 100. On avait eu le soin de faire préalablement bouillir l'eau, et de la laisser refroidir jusqu'à 8,9 degrés cent., température qui fut maintenue constante pendant la durée de l'expérience.[1]

BASES SALIFIABLES.

De la Morphine.[2]

Opium. La substance à laquelle on a donné le nom d'*opium* est un suc laiteux exprimé des tiges, des feuilles et des têtes du *papaver somniferum*. Ce suc devient promptement solide, et prend la couleur brune foncée, qui caractérise l'opium. Cette substance, que Paracelse introduisit le premier comme remède en Europe, et qui constitue un article important dans la matière médicale, était d'un usage immémorial dans l'Orient comme drogue enivrante. Il avait été fait beaucoup de recherches par des chimistes et des pharmaciens pour déterminer la composition de cette substance; mais ce fut M. Derosne qui annonça le premier à cet égard, en 1803 (Annales de

---

[1] Trans. philos. 1820, et Ann. de chim. et phys. XVI, 321.

[2] Dans son chapitre, qui traite des bases salifiables, M. Thomson distingue, sous le titre particulier de bases combustibles, l'ammoniaque, la *morphine*, la *strychnine*, la *brucine*, la *picrotoxine* et la *delphine*. Il avait été parlé de la morphine dans la traduction de la précédente édition, section XIII, des parties constituantes des plantes, tom. IV, pag. 75; et dans l'appendice qui termine ce volume on avait pré-

chimie, tome XLV, page 257), des résultats de quelque importance. Il obtint de l'opium une substance incolore, cristallisée en prismes à quatre pans, à bases rhomboïdales, insipide et inodore, insoluble dans l'eau froide, mais se dissolvant dans l'eau chaude, et promptement et très-facilement dans tous les acides.

M. Derosne, qui reconnut dans cette substance les qualités enivrantes et vénéneuses de l'opium, la considéra comme en étant le *principe narcotique*. Il observa aussi, qu'en ajoutant de la potasse à une infusion d'opium, il se produit un précipité abondant, qui a la propriété d'agir sur les couleurs bleues végétales à la manière d'un alcali, propriété qu'il attribue à la présence d'un peu de potasse que, dans son opinion, le précipité retient encore.

En 1817, M. Sertuerner, pharmacien à Eimbech dans le Hanovre, publia (*Gilberts Annalen*, *LV*, 56) les résultats de ses expériences sur l'opium, qui avait été depuis plusieurs années l'objet de ses recherches. M. Sertuerner avait reconnu, qu'en versant de l'ammoniaque dans une infusion d'opium, il se forme un précipité qui consiste principalement dans une substance à laquelle il donne le nom de *morphium*, représenté en français par celui de *morphine*;[1] comme il le reconnut capable de neutraliser des acides, il crut pouvoir lui donner la dénomination d'un alcali. Les expériences de M. Derosne ont été depuis répétées et confirmées par MM. Robiquet, Choulans, Pelletier et Caventou, ainsi que par divers autres chimistes et sur le continent, et dans la Grande-Bretagne.

On a indiqué, pour se procurer la morphine, trois procédés différens, dont les deux premiers ont été répé- Préparation.

---

senté un court exposé de la strychnine et de la picrotoxine comme alcalis nouvellement découverts, et on avait annoncé celui déjà trouvé par M. Pelletier dans la fausse angusture, pages 757, 759 et 760. Mais comme M. Thomson traite plus en détail dans sa 6e édition de ces nouvelles substances alcalines, on a cru devoir les rétablir ici dans le même ordre que l'auteur anglais, en présentant la traduction de ce qu'il en dit. R.

[1] *Um* est la terminaison adoptée par les Allemands pour les alcalis; la terminaison des noms de ces corps est chez les Anglais en *a*, et en *ine* pour les Français.

Procédé de M. Sertuerner.

tés avec succès. Celui de M. Sertuerner consistait à mêler ensemble 8 parties d'opium avec 2 ou 3 parties d'acide acétique concentré et un peu d'eau, et à bien remuer ce mélange de manière à le mettre en consistance de pâte molle. On étend cette pâte avec environ un litre et demi ou deux d'eau, et on passe le tout à travers un linge; le résidu peut-être lavé avec un peu d'eau pour le passer une seconde fois. Le liquide ainsi obtenu n'est que peu coloré. En y versant de l'ammoniaque caustique, il s'y produit un précipité abondant de morphine; et en évaporant la liqueur du quart au cinquième de son volume, on obtient une nouvelle quantité de cette substance. Mais la morphine, qu'on s'est ainsi procurée, n'est pas encore entièrement dépouillée d'extractif. Pour la purifier, M. Sertuerner la mettait en digestion dans une petite quantité d'alcool froid, qui se chargeait de la plus grande partie de l'extractif. Et en la faisant alors dissoudre dans de l'alcool bouillant, la morphine s'en séparait par le refroidissement de la liqueur, en cristaux à l'état de très-grande pureté.

Procédé de M. Robiquet.

Par suite de quelques recherches, que M. Robiquet avait cru devoir faire sur la nature de la morphine, il se décida à choisir de préférence la magnésie comme intermède pour se procurer la morphine. En conséquence il fit bouillir pendant un quart d'heure une dissolution aqueuse concentrée d'opium avec une petite quantité de magnésie, dans la proportion, qu'il considéra comme suffisante, de 1 partie sur 49 d'opium. Il se forma un dépôt grisâtre abondant. Après avoir séparé ce précipité par le filtre, il fut lavé d'abord à l'eau froide, et laissé ensuite pendant quelque temps en macération dans de l'alcool faible, chaud, mais non bouillant. La matière colorante fut aussi en plus grande partie séparée; on filtra, et le dépôt, lavé d'abord avec de l'alcool froid, fut dissous par une ébullition soutenue avec de l'alcool rectifié. La liqueur ayant alors été filtrée encore bouillante déposa, en se refroidissant, la morphine à l'état de cristaux presque dépourvus de couleur.

Procédé de M. Choulans.

M. Choulans fit digérer 120 grammes d'opium bien sec et réduit en poudre, dans des quantités d'eau froide distillée, successivement ajoutée jusqu'à ce que celle du

liquide s'élevât à environ 7 litres et demi. L'infusion ayant été mise à évaporer dans un vaisseau de verre à une douce chaleur au bain de sable jusqu'à ce qu'elle eut été réduite à 240 grammes, fut alors décantée dans une capsule de porcelaine. Après y avoir été exposée pendant 8 heures, à une chaleur maintenue entre 12 à 24 degrés centigrades, il s'y déposa de petits cristaux, ayant les caractères du sulfate de chaux. Après évaporation à siccité, le résidu fut dissous de nouveau dans de l'eau distillée, à l'exception d'une petite quantité de résine de couleur brunâtre. On versa dans cette dissolution de l'oxalate d'ammoniaque. Elle devint trouble, et il s'y forma un précipité qui, étant desséché, pesait environ deux décigrammes. Ce précipité ayant été séparé, on ajouta à la liqueur de l'hydro-chlorate de baryte pendant tout aussi long-temps qu'il y produisit du précipité. Le poids de ce nouveau précipité séparé et séché, était d'environ 13 centigrammes. Après avoir alors étendu la dissolution d'environ 4 litres d'eau distillée, et avoir versé dans la liqueur de l'ammoniaque caustique jusqu'à cessation de tout précipité, celui qui se forma ainsi était blanc et floconneux, et il devint, au bout de deux heures de repos, grenu et brun. Son poids excédait 23 grammes. Après avoir été complétement dissous dans 240 grammes de vinaigre distillé, il en fut précipité sans aucune altération dans sa couleur ou dans son poids, par de l'ammoniaque caustique. En versant, sur ce précipité, 30 grammes d'éther sulfurique, le mélange se gonfla considérablement; jeté sur un filtre de papier blanc, il passa à travers, dans l'espace d'une demi-heure, un liquide noir épais, ayant une forte odeur ammoniacale, brûlant très-facilement en laissant un charbon volumineux. La matière restée sur le filtre était d'apparence écumeuse; mais elle se réduisit, par la dessiccation, en une poudre fine qui avait beaucoup perdu de sa couleur foncée. Elle pesait alors environ 18 grammes. On fit digérer trois fois cette poudre dans de l'ammoniaque caustique, et autant de fois dans de l'alcool. Ces liquides acquirent, l'un et l'autre, une couleur d'un brun foncé, en laissant la morphine à l'état d'une poudre d'un blanc brunâtre, réduite au poids d'environ 12 grammes.

Cette poudre ayant été dissoute dans 360 grammes d'alcool bouillant, et la dissolution filtrée abandonnée au repos, il s'y déposa, au bout de 18 heures, des cristaux transparens incolores du poids d'environ 4 grammes, et consistant dans de la morphine à l'état de pureté. En distillant l'alcool on obtint une nouvelle quantité de morphine, mais qui n'était pas entièrement pure.

Propriétés. La morphine, ainsi obtenue, est transparente, incolore et cristallisée en pyramides à quatre faces, ayant pour base des carrés ou des rectangles; quelquefois les cristaux sont des octaèdres formés de deux de ces pyramides appliquées base à base. Sa saveur est très-amère et astringente; et prise à l'intérieur, elle produit les mêmes effets que l'opium lui-même. Mais ces effets, très-peu sensibles, lorsqu'elle est à l'état solide, sont beaucoup plus énergiques avec sa dissolution, ce qui est dû à ce que les sucs de l'estomac ont peu d'action sur cette substance. Les acides végétaux, et particulièrement le vinaigre, paraissent être les meilleurs antidotes de la morphine, que sans doute ils neutralisent.

Solubilit. L'eau, à la température de l'ébullition, dissout la 82me partie de son poids de morphine, et la dissolution dépose par le refroidissement des cristaux réguliers, transparens, incolores. La morphine se dissout dans 36 fois son poids d'alcool bouillant, et dans 42 fois son poids de ce liquide froid. Elle est soluble dans 8 fois son poids d'éther sulfurique (suivant M. Choulans).

Toutes ces dissolutions rougissent le papier de curcuma, rétablissent la couleur bleue du papier de tournesol, rougi par le vinaigre, changent en violet l'infusion de bois de Brésil, et en brun la teinture de rhubarbe. Lorsqu'on frotte sur la peau les dissolutions de morphine, elles y laissent une trace rouge.

La morphine se fond à une douce chaleur; et, dans cet état elle ressemble beaucoup à du soufre fondu. Par le refroidissement, elle cristallise de nouveau, elle brûle aisément, et chauffée en vaisseaux clos, elle laisse une masse solide, noire, résineuse, d'une odeur particulière. Elle peut se combiner avec le soufre à l'aide de la chaleur; mais la combinaison se détruit promptement avec dégagement de gaz hydrogène sulfuré.

La morphine se combine avec les différens acides qu'elle neutralise complétement et avec lesquels elle forme des sels, qui, le plus ordinairement, sont solubles dans l'eau et susceptibles de cristalliser. Il a été fait quelques essais pour déterminer la composition de ces sels; mais il est très-probable que les résultats qu'on en a jusqu'à présent publiés, ne méritent pas, suivant M. Thomson, beaucoup de confiance. Un seul exemple suffira pour faire juger de la discordance entre les analyses de différens chimistes.

Composition.

Suivant M. Robiquet, 2,5 gram. de morphine ont été saturés par 0,450 gram. d'acide sulfurique à 66 degrés; or 450 milligrammes d'acide sulfurique à ce degré de concentration contiennent 367 milligrammes d'acide réel; d'où il suit, d'après cette expérience, que le sulfate de morphine est composé de

0,367	5
2,500	34,047

Ce sulfate consiste, suivant M. Choulans, en

Acide sulfurique.	22 . . .	5
Morphine.	40 . . .	9,09
Eau.	38	
	100	

D'après les expériences de MM. Pelletier et Caventou, les parties constituantes de ce sel, sont

Acide sulfurique.	11,084 . . .	5
Morphine.	88,916 . . .	40,112
	100,000	

Ainsi, le nombre équivalent pour la morphine, est, suivant M. Robiquet, 34; selon M. Choulans, 9; et de plus de 40, d'après MM. Pelletier et Caventou. Si nous ajoutions, dans l'analyse de M. Choulans, l'eau qu'il attribue à la composition de la morphine; et, si nous considérions cette eau comme l'une de ses parties constituantes, alors l'équivalent pour la morphine dans cette analyse, deviendrait 17,72. Actuellement, le terme

moyen des analyses de M. Robiquet, et de MM. Pelletier et Caventou est de 37,08; mais 17,28 × 22 = 35,456, nombre qui se rapproche de celui 37,08; d'où il suit, que si nous considérons le sel de M. Choulans comme un bisulfate de morphine, le nombre équivalent dérivant de ces trois analyses, sera 36,538.

Pour se mettre en état d'apprécier la valeur relative de ces analyses, M. Thomson fit chauffer 65 milligrammes de morphine dans un tube de cuivre avec une quantité suffisante de peroxide de ce métal, il obtint 49 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et une quantité d'eau indiquant environ 43 centimètres cubes d'hydrogène; d'où il suit, que le carbone et l'hydrogène présens dans 65 milligrammes de morphine, pèsent environ 33 milligrammes. Il considère le manquant de 32 milligrammes comme étant de l'oxigène, et ce poids d'oxigène équivaut à environ 24 centimètres cubes; or le nombre le plus petit d'atomes, correspondant à ces proportions, est de . . . . . .

18 atomes hydrogène	=	2,25	5,59
24 atomes carbone	=	18,00	44,72
20 atomes oxigène	=	20,00	49,69
		40,25	100,00

D'après cette analyse, qui doit se rapprocher de très-près de la vérité, la morphine ne se composerait pas de moins de 62 atomes, et le poids d'une molécule intégrante de cet alcali, serait 40,25. Ce nombre diffère si peu de celui que donne l'analyse du sulfate de morphine, par MM. Pelletier et Caventou, que M. Thomson est porté à considérer le résultat de cette analyse comme se rapprochant beaucoup de la réalité.[1]

De la Strychnine.

Cette nouvelle substance alcaline fut découverte en 1818, par MM. Pelletier et Caventou, dans le fruit de

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, pag. 37; Annales de chimie et de physique, tome V, pag. 275, et Journal de pharmacie, tome V, page 538.

trois espèces différentes de *strychnos*, savoir le *strychnos, nux vomica*, noix vomique, le *strychnos ignatia*, fève de Saint-Ignace, et le *strychnos colubrina*, bois de couleuvre. Ces trois arbres sont natifs des Indes. On a fait, à l'occasion, usage en médecine de la noix vomique, comme remède, dans la manie, l'épilepsie, etc., et particulièrement dans les cas de fièvres intermittentes, tenaces. Mais en Angleterre, au moins, les médecins modernes font à peine jamais emploi de cette substance.

Préparation.

La noix vomique est une semence ronde, comprimée, très-dure, et pouvant à peine être réduite en poudre par trituration dans un mortier. MM. Pelletier et Caventou, ayant mis de la râpure de cette semence en digestion dans de l'alcool, et fait évaporer à siccité la dissolution alcoolique qui avait acquis une couleur foncée, le résidu fut dissous dans l'eau. En versant alors dans la dissolution aqueuse du sous-acétate de plomb jusqu'à cessation de précipité, l'acide avec lequel la strychnine est combinée, la matière grasse et la plus grande partie de la matière colorante dans le liquide, se précipitèrent, et la strychnine rejeta en dissolution, combinée avec l'acide, du sel de plomb employé. Après avoir alors filtré la liqueur, on y fit passer un courant de gaz hydrogène sulfuré pour en enlever tout excès de plomb; et après l'avoir séparé par le filtre, on ajouta de la magnésie à la liqueur filtrée, et on fit bouillir le mélange. Le précipité ayant été lavé à l'eau froide, fut dissous dans l'alcool, afin d'en séparer tout excès de magnésie. En évaporant ensuite la dissolution alcoolique, ils obtinrent la strychnine isolée. Si, par ce procédé, elle n'est pas amenée à l'état de pureté convenable, on peut la faire de nouveau dissoudre dans les acides acétique ou hydro-chlorique, précipiter par la magnésie, et redissoudre dans l'alcool. On finit par se la procurer ainsi complétement pure.

Propriétés.

La strychnine ainsi obtenue est une substance blanche, grenue, ou en très-petits prismes tétraèdres, terminés par des pyramides à quatre faces surbaissées. Elle n'a pas d'odeur; mais sa saveur est d'une amertume insupportable, laissant dans la bouche une sorte d'impression métallique. Elle n'éprouve aucun changement à l'air. Elle n'est ni fusible, ni volatile, au-dessous de la tempé-

rature d'environ 315 degrés centigrades, qui paraît être celle à laquelle elle se décompose; car, lorsqu'elle est exposée à la température de l'huile d'olive bouillante, elle est réduite en charbon. Chauffée fortement, elle se boursoufle, noircit, donne un peu d'huile empyreumatique, de l'eau, de l'acide acétique, de l'hydrogène, du gaz acide carbonique, et il reste un charbon très-volumineux. Lorsqu'on la chauffe avec du péroxide de cuivre, elle se convertit totalement en acide carbonique et en eau. D'où il suit, qu'elle est composée de carbone, d'hydrogène et d'oxigène, dans des proportions qui n'ont point encore été déterminées.

Solubilité.

La strychnine est très-peu soluble dans l'eau; ce liquide, à la température de 10 degrés centigrades, n'en dissout que la 6667e partie de son poids, et lorsqu'il est bouillant, 2500 parties en dissolvent une de strychnine. Lorsque la dissolution de cette substance dans l'eau froide est mêlée avec 100 fois son poids de ce liquide, la liqueur est encore très-sensiblement amère. La strychnine est au contraire excessivement soluble dans l'alcool. Cette substance alcaline rétablit la couleur bleue du papier de tournesol rougi par un acide; elle ne fait pas passer au rouge le papier de curcuma; mais elle se combine avec les différens acides, qu'elle neutralise complétement, formant des sels qui, pour la plupart, sont susceptibles de cristalliser.

Action de l'acide nitrique.

Lorsqu'on verse de l'acide nitrique concentré sur la strychnine, surtout si c'est avec application de la chaleur, la couleur de cette substance se change en un rouge de sang intense; et, par l'action continuée de l'acide, la couleur passe au jaune; il paraîtrait probable, d'après les expériences dont MM. Pelletier et Caventou rendent compte, que ces changemens de couleur sont dus à la combinaison d'une portion d'oxigène avec la strychnine. Lorsqu'on ajoute de la potasse au liquide rouge, produit par l'action de l'acide nitrique sur la strychnine, il se forme, si la liqueur a été un peu concentrée, un principité orangé; ce précipité est de la strychnine un peu altérée dans ses propriétés. Elle agit encore comme alcali; mais avec moins d'énergie que la strychnine qui n'a point éprouvé d'altération. Lorsqu'on traite

avec de la magnésie, la dissolution nitrique jaune de strychnine, on obtient également un précipité qui agit comme alcali; mais cette action est encore plus faible que celle du précipité orangé.

La strychnine n'est pas sensiblement attaquée par l'oxigène, au moins, à la température ordinaire de l'atmosphère. Lorsqu'on fait passer un courant de vapeur de chlore à travers un mélange d'eau et de strychnine, cette substance alcaline est dissoute; et, si on l'abandonne à une évaporation spontanée, il y a apparence de cristaux d'hydro-chlorate de strychnine. Si, au lieu d'évaporation spontanée, le liquide est soumis à l'action de la chaleur, il prend une couleur brune. Il s'est probablement formé, et du chlorate et de l'hydrochlorate de strychnine, et la couleur brune est due à la décomposition du premier de ces sels par la chaleur. En faisant bouillir ensemble de l'iode et de la strychnine dans l'eau, on obtient une dissolution sans couleur, qui, par l'évaporation, fournit des cristaux transparens et incolores d'iode et de strychnine. La liqueur tient en dissolution de l'hydriodate de strychnine. Pour convertir la totalité de l'iode en acides iodique et hydriodique, il faut employer une proportion de strychnine plus grande que celle qui peut être dissoute, et la séparer par le filtre après la dissolution de l'iode. Lorsque après avoir mêlé de l'iode et de la strychnine avec une très-petite quantité d'eau, on fait agir ces substances l'une sur l'autre, la strychnine devient rouge dès qu'elle est attaquée par l'acide nitrique.

Le soufre n'exerce aucune action sur la strychnine, lorsqu'on fait bouillir ensemble ces deux substances dans l'eau; mais si on les chauffe ensemble, jusqu'à ce que le soufre fonde, il y a dégagement abondant de gaz hydrogène sulfuré. Le carbone n'a aucune action sensible sur la strychnine. Cette substance alcaline est insoluble dans les huiles fixes et dans les éthers; mais elle se dissout facilement dans les huiles volatiles.

Action sur les corps vivans.

La strychnine agit avec une grande violence sur les corps vivans, il suffit d'environ 3 centigrammes de cet alcali pour donner la mort à un lapin. Des convulsions s'ensuivent et l'animal périt dans des secousses tétaniques. Les mêmes effets sont produits par l'introduction de la

strychnine dans une plaie. La morphine semble affaiblir la violence de l'action de la strychnine, mais sans en détruire les effets ; d'où il paraîtrait, que la strychnine agit comme très-puissant stimulant. L'action de ses sels est encore plus énergique.

D'après l'analyse de MM. Pelletier et Caventou, il paraît que la composition du sulfate de strychnine, consiste dans

Acide sulfurique. .	9,5.	5
Strychnine. . . .	90,5.	47,621.
	100,0	

d'où il suit, que le nombre équivalent pour la strychnine est 47,621 (1).

De la Brucine.

Découverte.

Cette nouvelle substance alcaline fut découverte en 1819, par MM. Pelletier et Caventou, dans l'écorce du *brucæa antidysenterica*. Cette écorce avait été substituée dans son emploi en médecine, à l'*augusture*, et avait été distinguée sous le nom de *fausse augusture*. MM. Pelletier et Caventou lui donnèrent celui de *brucine* en mémoire de Jacques Bruce, qui le premier fit connaître le brucæa antidysenterica, en rapportant d'Abyssinie des graines de ces arbres, qui ont levé dans les jardins botaniques de l'Europe.

Sa préparation.

Pour extraire la brucine de l'écorce du brucæa, MM. Pelletier et Caventou enlevèrent d'abord à cette écorce sa matière grasse, au moyen de l'éther sulfurique. Ils la firent alors digérer dans l'alcool, et après avoir évaporé à siccité la dissolution alcoolique, et redissous le résidu sec dans l'eau, ils traitèrent cette dissolution aqueuse par le sous-acétate de plomb, pour précipiter la matière colorante. En faisant passer ensuite un courant de gaz hydrogène sulfuré dans la liqueur filtrée, ils en séparèrent tout excès de plomb. Dans cet état, le

(1) 6e édition de Thomson, vol. II, page 42 ; Annales de chimie et de physique, tome X, page 142.

liquide, après avoir été filtré, n'était précipité ni par l'ammoniaque, ni par le carbonate de potasse, ou la magnésie; mais l'addition de ces substances développait les caractères alcalins, lors même qu'on les ajoutait en quantités telles qu'elles ne pussent que suffire à saturer l'acide qui existait dans le liquide. Pour obtenir la brucine, qui constituait la portion alcaline de ce liquide, on le satura avec l'acide oxalique, et la liqueur fut évaporée à siccité. En faisant ensuite digérer sur le résidu de l'alcool absolu à la température de zéro, toutes les substances étrangères à la brucine furent dissoutes, et il ne resta que l'oxalate de brucine à l'état d'un sel blanc. Cet oxalate, alors traité par de la chaux, fut décomposé en cédant son acide; et la brucine ainsi séparée ayant été dissoute dans de l'alcool bouillant, on l'obtint à l'état de petits cristaux, par l'évaporation lente de cette dissolution alcoolique.

La brucine ainsi obtenue est sous la forme de prismes obliques à quatre pans avec base parallélogrammique. Propriétés.

Lorsqu'on l'obtient par décomposition d'une dissolution alcoolique saturée, elle est sous la forme d'écailles nacrées, ayant l'apparence d'acide borique. Ces écailles sont très-légères; elles contiennent beaucoup d'eau interposée, qu'on en peut faire sortir par compression, ce qui en diminue extrêmement le volume.

La brucine a une saveur très-amère avec un certain degré d'âcreté, et cette saveur persiste long-temps dans la bouche. Elle se dissout dans 500 fois son poids d'eau bouillante, et dans 850 fois son poids de ce liquide froid. La matière colorante de l'écorce augmente beaucoup sa solubilité.

Exposée à l'air, la brucine ne s'altère pas. Chauffée à un degré tant soit peu supérieur à celui de l'eau bouillante, elle fond, et se prend, par le refroidissement, en une masse ayant l'apparence de la cire. Soumise à l'action d'une forte chaleur, elle se décompose, fournit beaucoup d'huile empyreumatique, un peu d'eau et d'acide acétique, de l'hydrogène carboné, et très-peu de gaz acide carbonique. Chauffée avec le peroxide de cuivre, elle est convertie en acide carbonique et en eau; d'où il suit que ses parties constituantes sont le carbone,

l'hydrogène et l'oxigène, dans des proportions encore inconnues.

La brucine neutralise les acides, avec lesquels elle forme des sels qui, pour la plupart, sont solubles dans l'eau, et susceptibles de cristalliser en affectant des formes constantes et régulières.

Traitée avec l'acide nitrique concentré, la brucine prend, comme cela a lieu avec la strychnine, une couleur rouge, qui passe ensuite au jaune; mais les nuances de couleur diffèrent de celles produites par la strychnine. Ces changemens sont probablement dus à l'addition d'oxigène, dont les effets sur la brucine sont semblables à ceux qu'opère cette addition sur la strychnine.

Les autres propriétés de la brucine sont à peu près les mêmes que celles de la strychnine; comme cette dernière substance, la brucine se dissout facilement dans l'alcool et les huiles volatiles. Mais elle est insoluble dans l'éther et dans les huiles fixes.

Il paraît résulter des expériences de MM. Pelletier et Caventou que la brucine est composée, savoir :

Acide sulfurique. . .	8,84 . .	5
Brucine.	91,16 . .	51,561
	100,00	

Il s'ensuivait, que le nombre équivalent pour la brucine est 51,361.

L'action de la brucine sur l'économie animale est précisément la même que celle de la strychnine, mais avec une énergie d'un douzième plus faible. Elle occasione le tétanos, et agit sur les nerfs sans affecter les facultés intellectuelles. [1]

De la Picrotoxine.

Histoire. C'est la substance à laquelle le *cocculus indicus*, le fruit du *menispermum cocculus*, doit ses qualités vénéneuses, et dont M. Boullay, pharmacien à Paris, exa-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 45; Annales de chimie et de physique, tome XII, page 113.

mina avec beaucoup de soin ; en 1811 et depuis, la nature et les propriétés. Il donna à cette substance le nom de *Picrotoxine*, de πικρος, amer, et τοξικον, poison. d'après sa saveur amère et son action comme poison sur l'économie animale.

Preparation.

On obtient la picrotoxine en faisant bouillir, dans une suffisante quantité d'eau, les semences du cocculus menispermum mondées de leur péricarpe, et en ajoutant à la décoction filtrée, de l'acétate de plomb, jusqu'à cessation de précipité. Après avoir alors filtré la liqueur, on la fait évaporer jusqu'à consistance d'un extrait, qu'on fait dissoudre dans de l'alcool d'une pesanteur spécifique de 0,817, et cette dissolution est évaporée à siccité. On réitère ainsi alternativement ces dissolutions et évaporations aqueuses et alcooliques jusqu'à ce que le résidu sec de l'évaporation soit devenu complétement soluble dans l'alcool et dans l'eau. Dans cet état du résidu, c'est la picrotoxine unie à une matière colorante jaune ; on l'agite alors avec une petite quantité d'eau. Ce liquide s'empare de la matière colorante, qui est très-soluble ; et détermine la séparation d'un grand nombre de petits cristaux constituant la picrotoxine presque pure. On lave ces cristaux avec un peu d'eau, et ensuite avec de l'alcool.

Propriétés.

La picrotoxine, ainsi obtenue à l'état de pureté, est blanche ; ses cristaux sont des prismes tétraèdres ; sa saveur est excessivement amère ; elle altère à peine les couleurs bleues végétales. Cette substance alcaline se dissout dans 25 fois son poids d'eau, et elle ne peut être précipitée de cette dissolution par aucun réactif. L'alcool d'une pesanteur spécifique de 0,810 en dissout les 0,33 de son poids, et l'éther sulfurique à 0,7 de pesanteur spécifique peut en dissoudre les 0,40 de son poids.

La picrotoxine est insoluble dans les huiles ; elle se combine avec les différens acides qu'elle neutralise en formant des sels, dont la nature et les propriétés n'ont été qu'imparfaitement reconnues.

Une dissolution de potasse et de soude, étendue de dix fois son poids d'eau, dissout la picrotoxine. Cette substance, triturée avec de la potasse, n'émet point d'odeur d'ammoniaque. Elle brûle sur les charbons ar-

dens sans se fondre ; prise à l'intérieur, elle enivre et agit comme poison.

Il semble résulter de l'analyse de M. Boullay, que le sulfate de picrotoxine est un composé de

Acide sulfurique. . . .	9,99 . . .	5
Picrotoxine.	90,01 . . .	45
	100,00	

Et, par conséquent, le nombre équivalent pour la picrotoxine, serait 45.[1]

De la Delphine.

Découverte. MM. Lassaigne et Feneulle annoncèrent, au mois de juillet 1819, la découverte qu'ils venaient de faire d'une substance alcaline dans la graine du *delphinium staphysagria*, la staphysaigre, plante qui croît dans les départemens méridionaux de la France, et dont, à raison de ce qu'elle est excessivement âcre, on faisait autrefois emploi en médecine.

Préparation. MM. Lassaigne et Feneulle parvinrent à extraire le nouvel alcali de la graine de la staphysaigre, en la mettant d'abord à l'état de pulpe, par trituration dans un mortier, et en la faisant ensuite bouillir pendant quelque temps dans l'eau, pour en séparer tout ce qu'elle contenait de soluble. La liqueur, après avoir été filtrée, fut mêlée avec un peu de magnésie calcinée bien pure, et on fit bouillir pendant quelque temps; il se forma un sédiment, qui ayant été séparé par le filtre, fut mis en digestion dans de l'alcool bouillant. La dissolution alcoolique abandonna, par l'évaporation, la *delphine* passablement pure.

Propriétés. La delphine, ainsi obtenue, est sous la forme d'une poudre blanche, à texture cristalline pendant qu'elle est humide; mais elle devient opaque par son exposition à l'air. Sa saveur est très-amère et très-âcre, mais elle n'a point d'odeur. Soumise à l'action de la chaleur, elle se fond, ayant l'aspect de cire liquide; mais, en refroi-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 47; Annales de chimie, tome LXXX, page 209.

dissant, elle devient dure et cassante, et ressemble alors à de la résine. A une chaleur plus forte, elle noircit, se boursoufle, en émettant une fumée blanche d'une odeur particulière qui prend feu à l'air; il reste un charbon léger qui brûle sans laisser de résidu.

L'eau froide a peu d'action sur la delphine; il faut cependant qu'elle en dissolve une petite portion, puisqu'elle acquiert la saveur âcre qui distingue cet alcali. L'alcool et l'éther sulfurique la dissolvent avec facilité; la dissolution alcoolique verdit le sirop de violette, et rétablit la couleur bleue du papier de tournesol rougi par le vinaigre.

La delphine s'unit avec les différens acides qu'elle neutralise en formant avec eux des sels très-solubles dans l'eau, et caractérisés par la saveur âcre et amère de la delphine elle-même.

Outre ces substances alcalines nouvellement découvertes dans les substances végétales, il y a lieu de croire que la plupart des substances amères, et qu'un grand nombre des poisons végétaux sont des corps alcalins. [1]

De la Soude.

Essai des soudes du commerce.

Les soudes du commerce contiennent le plus souvent, immédiatement après leur fabrication, suivant MM. Gay-Lussac et Welter, du sulfure de soude qui, par l'action de l'air, produit du sulfite. Le même effet de décomposition de ce sulfure par l'air, devrait également donner naissance à de l'hyposulfite de soude. Mais MM. Gay-Lussac et Welter ont reconnu que les soudes, à moins qu'elles n'aient été mal fabriquées, ne fournissent que du sulfite, et non de l'hyposulfite; et ils se sont assurés que ce résultat, qui avait eu lieu de les surprendre, était dû à ce que la soude étant en grand excès relativement au sulfure, cet excès s'opposait à la formation de l'hyposulfite, et déterminait celle du sulfite. Et, en effet, une dissolution de sulfure de potasse, avec grand excès d'alcali, laissée pendant quelque temps à l'air, s'est

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 48, et Annales de chimie et de physique, tome XI, page 188, et tome XII, page 358.

changée en sulfite, et n'a pas donné la plus légère trace d'hyposulfite.

D'après ces observations sur l'état ordinaire des soudes du commerce, le procédé que l'on suit pour les essayer, et qui consiste à rechercher combien un poids donné d'une soude sature d'acide sulfurique d'une force connue, devient très-défectueux. Dans ce mode d'essai, en effet, le sulfure de soude étant décomposé par l'acide sulfurique, sature une portion de cet acide, et il en résulte que le titre de la soude essayée est évalué trop haut, parce que le sulfure de soude, qui n'est utile dans aucun art, est, au contraire, souvent nuisible.

Pour remédier à cette cause d'incertitude et de défectuosité dans l'essai des soudes brutes, MM. Gay-Lussac et Welter proposent d'ajouter à la dissolution de leurs parties solubles un peu de chlorate de potasse, d'évaporer ensuite la liqueur à siccité, et de calciner au rouge le résidu, pour convertir les sulfures ou les sulfites en sulfates. En opérant alors comme dans le procédé ordinaire, la quantité d'acide sulfurique employée indiquera bien réellement le titre des soudes.

On peut déterminer facilement la quantité de sulfite qui existe dans une soude, en faisant deux essais, l'un sur la soude dans son état naturel, l'autre sur une portion égale, après l'avoir calcinée avec un peu de chlorate de potasse. Le double de la différence des deux titres obtenus représentera la quantité de sulfite, qu'il sera aisé d'évaluer en centièmes. En opérant de même, on parviendrait à connaître la quantité de sulfure; mais alors on prendrait seulement la différence des deux titres, au lieu de la doubler. Les soudes, à l'état brut surtout, étant un mélange de sulfure de chaux très-peu soluble, et de carbonate de soude, la manière dont on fait dans leur essai la dissolution, à chaud, à froid, avec plus ou moins de temps, a une grande influence sur leur titre. Si la dissolution se fait à froid, il ne se dissout que très-peu de sulfure de chaux; mais si elle a lieu à chaud, il se dissout alors du sulfure qui, agissant sur le carbonate de soude, le décompose, et reproduit du sulfure de soude et du carbonate de chaux. D'un autre côté, si on laissait au sulfure de chaux le temps de se dissoudre, on

reproduirait une quantité considérable de sulfure de soude.

MM. Gay-Lussac et Welter observent de plus, que la saturation de la dissolution de soude par l'acide sulfurique, exige également des attentions particulières. Après avoir préparé une forte infusion de tournesol, réactif qui leur semble devoir mériter la préférence, comme propre à faire reconnaître le terme de la saturation et d'un emploi commode et très-sûr, on verse assez de cette infusion dans la dissolution de soude à essayer, pour qu'elle ait une teinte bleue bien prononcée. On ajoute ensuite l'acide sulfurique par très-petites parties, et l'on agite continuellement. Pour opérer plus commodément, il convient de se servir d'un vase profond, tel qu'un bocal assez grand pour que la dissolution de soude ne forme qu'une couche de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, et il faut placer ce bocal sur une feuille de papier blanc, afin de mieux apprécier les changemens de couleur. L'acide carbonique de la soude, déplacé par l'acide sulfurique, ne se manifeste pas d'abord, parce qu'il se combine avec la portion du carbonate de soude, qui n'a point encore éprouvé de décomposition, en formant ainsi un bicarbonate, ou un carbonate saturé. Pendant la formation du bicarbonate, la couleur du tournesol ne change point, parce qu'il n'y a point d'acide carbonique libre dans la liqueur; mais dès qu'étant transformé, il commence à être décomposé par l'acide sulfurique, la couleur bleue du tournesol vire au rouge, et l'effervescence ne tarde pas à se manifester. Il faut alors être attentif à ne pas dépasser le point de la saturation. Lorsqu'on a lieu de présumer qu'on en approche, on ajoute l'acide sulfurique par cinquièmes ou par dixièmes de mesure, en faisant, après chaque addition, un trait sur du papier de tournesol avec une baguette de verre trempée dans la dissolution. On réitère ainsi, jusqu'à ce que le dernier trait sur le papier de tournesol soit très-décidément rouge, et même qu'on ait dépassé la saturation. On retranche alors autant de cinquièmes ou de dixièmes de mesures, moins un, et l'on a le véritable titre de la soude. On s'aperçoit aisément que l'acide sulfurique commence à dominer dans la liqueur, par la couleur pelure d'ognon

qui succède subitement à la couleur rouge vineuse, qui avait été produite par l'acide carbonique. Si la soude, essayée en opérant ainsi, est entièrement caustique, sa dissolution, colorée en bleue par le tournesol, ne changera de couleur qu'au moment de la saturation complète par l'acide sulfurique; si elle est totalement bicarbonatée, elle changera de couleur, et l'effervescence se manifestera après l'addition du premier vingtième d'acide sulfurique; enfin, si elle est seulement carbonatée, le changement de couleur du tournesol par l'acide carbonique et l'effervescence, se manifesteront lorsqu'on aura ajouté les douze vingtièmes de la quantité d'acide sulfurique nécessaire à la saturation.

La force de l'acide à employer dans ce procédé est tout-à fait arbitraire (1).

De la Chaux.

Chaux de construction, mortiers ordinaires.

M. Vicat, ingénieur des ponts et chaussées, s'étant occupé de recherches sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires, entreprit sur ce sujet, en 1812, une suite raisonnée d'expériences, dont les résultats principaux peuvent suffire à présenter, d'une manière satisfaisante, l'histoire des élémens qui entrent dans la composition des cimens calcaires et des effets que produisent leurs diverses combinaisons.

Élémens des cimens calcaires.

Les ingrédiens qui entrent ordinairement dans la composition des mortiers, sont la chaux, le sable éminemment siliceux, et les produits naturels ou factices connus sous les dénominations de *trass, cendrée, pouzzolane*, etc.

On considère comme pierre à chaux tout carbonate calcaire, depuis le marbre blanc le plus pur, jusqu'au carbonate marneux le plus grossier, ayant acquis par l'action du feu, plus ou moins long-temps continuée, la propriété de s'échauffer avec l'eau, de fuser et de faire pâte avec ce liquide. La chaux que fournissent les carbonates, qui par leur pureté se rapprochent beaucoup du marbre, s'appelle *chaux grasse*, et l'on donne au contraire la qualification de *chaux maigre* à celle qui

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIII, page 212.

provient des pierres tenant en quantité notable de la silice, de l'alumine et du fer. La chaux de la première espèce est ordinairement très-blanche, elle foisonne beaucoup par l'extinction, et peut former une pâte forte et liante. La chaux maigre est grise ou d'un jaune sale; elle fournit peu à l'extinction et donne lieu à une pâte courte et peu tenace.

Action du feu sur les pierres à chaux.

Les carbonates calcaires purs, ou presque purs, passent à l'état de chaux de construction par la perte de leur eau de cristallisation, et de la plus grande partie, sinon de la totalité de leur acide carbonique. Quelques différences dans la durée ou dans la force du feu, n'en apportent aucune essentielle dans la qualité de la chaux grasse produite. Il n'en est pas de même des pierres à chaux maigre; car, indépendamment de ce que l'action du feu en sépare aussi l'eau et de l'acide carbonique, cette action influe encore sur l'état de combinaison des oxides qui entrent dans la constitution de ces pierres. Au terme de la bonne cuisson, la silice acquiert la propriété d'être soluble dans les acides. Si le feu est poussé trop loin, la couleur de la chaux, de fauve qu'elle était, se rembrunit et passe au gris-noir; il y a fusion pâteuse et perte de produit. Toutefois la silice n'est altérée au point d'être rendue soluble dans les acides que lorsqu'elle est disséminée en particules très-fines dans le tissu pierreux; car lorsque, comme dans les calcaires arénacés, elle y est interposée sous la forme de sable fin, elle est encore précipitée de ces pierres après la cuisson, lorsqu'on les traite par un acide.

Combinaison de l'eau et de la chaux.

Les chaux grasses réduites en pâtes par l'extinction ordinaire, et placées ensuite sous l'eau, ou dans un bassin imperméable, recouvert de sable ou de terre, peuvent s'y maintenir à l'état pâteux pendant plusieurs siècles. Si, au contraire, après les avoir divisées en solides d'une petite dimension, on les expose au contact de l'air et à couvert, elles contractent, par le double effet de la dessiccation et de l'acide carbonique de l'atmosphère, une dureté très-remarquable, et deviennent même susceptibles d'un très-beau poli.

Les chaux maigres, placées de la même manière que les chaux grasses, soit dans l'eau, soit dans un bassin, y

durcissent, en général, au bout de quelques jours, et elles y formeraient à la longue une espèce de pierre tendre qu'on ne pourrait enlever qu'au pic. Exposées à l'air, elles y prennent une consistance crayeuse, sans pouvoir jamais recevoir le poli. Cependant la chaux maigre dont la silice, à raison de la grosseur de son grain, n'a pas acquis par la cuisson la propriété de se dissoudre dans les acides, fait exception ; elle se comporte à peu près comme la chaux grasse, et ne se durcit point dans l'eau. On a donc, d'après cette circonstance particulière, établi parmi les chaux maigres une distinction, en désignant par le nom de *chaux hydrauliques*, celles qui jouissent de la propriété de durcir dans l'eau.

Pouzzolanes. Les pouzzolanes sont ou naturelles ou artificielles. Les premières, d'origine volcanique, consistent dans des matières ayant éprouvé, par l'action des feux souterrains, des modifications différentes, qu'on peut en général réduire à trois, le boursouflement, la vitrification et la calcination. Ces matières se présentent donc sous les formes diverses de laves boursouflées, de scories, de verres compactes et boursouflés, de sables ou cendres, de matières agglutinées, et de matières calcinées. Ces produits se composent tous de silice, d'alumine, d'oxide de fer et d'un peu de chaux. Les proportions de ces quatre principes varient dans des limites assez étendues. Quelquefois, mais rarement, l'oxide de fer ou la chaux y manquent totalement, et presque toujours la silice prédomine.

Les pouzzolanes analogues artificielles sont, les scories de forge, la cendrée, les débris de poterie, ou de tuileaux pulvérisés, etc.

Parmi ces matières, les unes offrent des traces d'une action très-intense du feu, tandis que d'autres ne paraissent que légèrement calcinées ; plusieurs semblent avoir été altérées par l'effet d'une décompotion spontanée très-lente.

Ces modifications ayant dû produire, dans les pouzzolanes, une union plus ou moins intime de leurs principes constituans, il en résulte qu'il en est parmi elles qui se dissolvent aisément dans l'acide sulfurique, en laissant la totalité de leur silice pour résidu, que d'autres

ne la cèdent que difficilement, et après un temps assez long, et que quelques-unes paraissent tout-à-fait rebelles.

Combinaison des élémens des cimens calcaires.

En mêlant, en proportions diverses, de la chaux grasse éteinte comme à l'ordinaire, avec du sable seul ou avec l'une des pouzzolanes qui résistent d'une manière absolue à l'action de l'acide sulfurique, on obtient des cimens qui, placés sous une eau pure, y restent toujours mous, ou n'acquièrent, après un temps plus long, qu'une faible consistance. Ces cimens exposés à l'air y durcissent, mais par dessiccation seulement; car ils se brisent si facilement qu'on en doit conclure qu'il ne s'y est point formé d'union chimique entre leurs parties constituantes.

Avec les pouzzolanes dont on sépare facilement la silice par les acides, et la chaux grasse, les cimens produits se prennent en très-peu de temps dans l'eau, et y deviennent de plus en plus durs. Mais ils résistent très-peu lorsqu'ils sont exposés à l'air libre, ce qui paraît être dû à ce que leur dessiccation s'opère alors trop rapidement. Lorsqu'on combine la chaux hydraulique avec le sable seul, ou avec l'une des pouzzolanes qui résistent aux acides, ce mélange produit de très-bons cimens, tandis que l'on n'obtient que des résultats médiocres avec le sable ou la pouzzolane dont les acides séparent la silice.

Tous ces faits prouvent, ainsi que l'a annoncé M. Gay-Lussac, que c'est l'affinité qui préside à la solidité qu'acquièrent tous les mortiers, et qu'on doit par conséquent toujours la favoriser. On rend cette affinité évidente en versant de l'eau de chaux dans de la potasse silicée ou aluminée; car il se produit aussitôt un précipité abondant et insoluble. Toute pouzzolane, qui résiste à l'action de l'acide sulfurique, résistera aussi à l'action de la chaux, et sera ainsi dans un état moins propre à contracter une union avec cette base alcaline, que la pouzzolane qui se laisse attaquer par cet acide.

Il existe deux causes de durcissement des mortiers: l'une analogue aux phénomènes dont la chimie offre tant d'exemples, est due à ce qu'en général toutes les substances solides qui ont de l'affinité l'une pour l'autre, et qu'elles peuvent satisfaire dans des circonstances convenables, sont propres à former du mortier.

L'autre cause de durcissement, et qui en est une se-

condaire, résulte de l'affinité puissante qui porte l'acide carbonique répandu dans l'air sur la chaux du mortier. L'action de cet acide, lorsqu'elle est favorisée par certaines circonstances, telle que celle du mortier récemment employé, et d'un accès facile, a pour effet de rendre la chaux carbonatée, et plus propre à se lier fortement aux molécules de sable ou de pouzzolane.

Après avoir ainsi présenté des notions certaines sur le choix et l'influence réciproque des matières principales qu'il convient d'employer à la formation des ciments calcaires, ainsi que sur la théorie de la solidification de ces ciments, M. Vicat s'est occupé des moyens de se procurer ces matières principales, telles que la nature elle-même les a préparées, lorsque l'économie interdit l'usage de celles-ci.

Chaux hydrauliques et pouzzolanes factices.

Puisque, ainsi que le fait observer M. Vicat, la qualité des chaux hydrauliques naturelles ne dépend que de la présence d'une certaine quantité d'argile combinée par le feu avec la matière calcaire, il était naturel de penser qu'en mêlant de l'argile, en proportion convenable, avec de la chaux grasse éteinte d'une manière quelconque, et en soumettant ce mélange à la cuisson, on obtiendrait un résultat semblable; et c'est ce qui en effet a réussi à M. Vicat par des expériences faites en grand, et en divers lieux, d'une manière si complète, qu'il est maintenant possible de fabriquer partout, et à un prix très-modéré, de la chaux artificielle supérieure aux chaux naturelles analogues.

De même aussi, les pouzzolanes naturelles étant composées, d'après l'analyse chimique, de silice, d'alumine, d'oxide de fer et d'un peu de chaux, composition toute semblable à celles de nos argiles, celles-ci doivent être susceptibles d'être transformées par la cuisson, en pouzzolanes artificielles; puisque surtout il est maintenant démontré que la propriété de ces pouzzolanes réside, non dans la présence du fer ou de la chaux, mais bien dans un état particulier de combinaison de la silice et de l'alumine, état auquel on ramène, avec la plus grande facilité, toutes les argiles douces et grasses au toucher, par l'effet d'une légère cuisson.

On était donc parvenu à fabriquer artificiellement des

pouzzolanes d'un emploi aussi convenable que celui des pouzzolanes naturelles, en réduisant nos argiles desséchées en poudre très-fine, et en les calcinant pendant quelques minutes sur des plaques métalliques chauffées au rouge brun; mais il a été reconnu depuis que cette calcination peut s'effectuer aisément dans un four à réverbère.

M. Vicat s'occupe ensuite de la fabrication et de l'emploi des cimens calcaires. Leur fabrication consiste dans la préparation, les proportions et la manipulation des matières qu'on y emploie; et les règles établies à ce sujet dérivent toujours des expériences, comme aussi elles peuvent se déduire du principe déjà énoncé, que l'affinité étant la cause première et prépondérante du durcissement des cimens, tout ce qui peut favoriser cette affinité doit être mis en usage.

Quant à l'emploi des ciméns, la place qu'ils occupent dans les édifices influe sensiblement sur la dureté qu'ils acquièrent, suivant que cette place favorise le jeu des affinités. C'est ordinairement dans les fondations que les mortiers acquièrent le plus de dureté, tandis qu'au contraire les cimens les plus friables se trouvent dans les parties élevées et couvertes, dont la dessiccation a dû être très-rapide.

M. Vicat cite, comme un fait d'expérience, que les pierres à tissu poreux, à travers lesquelles l'eau filtre aisément, résistent en général beaucoup mieux que les pierres dures et compactes aux alternatives d'un grand froid et d'une grande chaleur; il faut donc, suivant lui, employer pour les enduits extérieurs des mortiers très-maigres, parce qu'ils imitent la contexture des pierres poreuses, et en acquièrent la propriété.

M. Vicat termine cet exposé de ses recherches par des expériences comparatives sur la force des mortiers antiques du midi de la France, et celle de quelques mortiers modernes composés avec les mêmes chaux. On peut conclure de ces expériences, 1° que les mortiers romains ne sont pas partout également bons; qu'ainsi leur dureté ne peut être, comme on l'a prétendu, l'unique effet du temps, mais qu'elle résulte évidemment de l'excellence des matières employées, ou des circons-

tances fortuites ou calculées, qui en ont favorisé la combinaison; 2° qu'en adoptant les moyens de fabrication des mortiers que ses recherches lui ont fait reconnaître comme les plus convenables, on peut en obtenir qui parviennent en peu d'années à égaler, et même à surpasser les meilleurs mortiers romains. [1]

De la Zircone.

On n'était point encore parvenu à obtenir la zircone isolée du fer; et c'est M. Chevreul qui a réussi le premier à se procurer cette substance à l'état de pureté parfaite, au moyen d'un procédé principalement fondé sur ce qu'une quantité d'acide hydro-chlorique concentré, insuffisante pour dissoudre une certaine quantité d'hydro-chlorate de zircone, suffit, au contraire, pour dissoudre les hydro-chlorates de fer et de cuivre qui accompagnent l'hydro-chlorate de zircone. M. Chevreul ayant fait dissoudre, avec de la potasse dans un creuset d'argent, de la zircone de Ceylan qui tenait du fer, et épuisé la masse ainsi fondue de tout ce qu'elle pouvait contenir de soluble dans l'eau, il resta un zirconate de potasse, mêlé d'oxides de fer, de cuivre et d'argent (ces deux derniers oxides provenant du creuset). En versant alors sur ce zirconate de fer de l'acide hydro-chlorique concentré, il y eut dégagement de chaleur, de vapeur d'eau et de gaz hydro-chlorique. Après avoir mis ensuite la matière à l'état de pâte molle, dans un cylindre de verre de 27 millimètres de diamètre sur environ 14 centimètres de haut, dont un bout avait été effilé à la lampe, il fit passer sur cette matière de l'acide hydro-chlorique concentré, jusqu'à ce que cet acide ne lui enlevât plus que de l'hydro-chlorate de zircone et du chlorure de potassium, ce qui se reconnaît à ce que le lavage mêlé à l'eau ne précipite point de chlorure d'argent, à ce qu'il ne se colore point par l'acide hydro-sulfurique, enfin à ce que l'hydro-sulfate d'ammoniaque y fait un précipité parfaitement blanc. Dans cet état, la masse lavée à l'acide hy-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV, page 365.

dro-chlorique ayant été délayée dans l'eau et filtrée, M. Chevreul, après avoir précipité la zircone pure par l'ammoniaque, obtint un hydrate qu'il calcina dans une capsule de verre, où il ne resta que la zircone complétement isolée et pure. [1]

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIII, page 245.

DES ACIDES.

ACIDES AVEC BASE SIMPLE.

De l'Acide nitrique.

La table qui suit, formée par le docteur Ure d'après les résultats d'une suite d'expériences qui paraissent avoir été faites avec le plus grand soin, ne pouvant être que d'une très-grande utilité pour les chimistes praticiens, on a cru devoir la présenter ici.

Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.
1,5000	79,700	1,4306	62,166	1,3270	44,632
1,4980	78,903	1,4269	61,369	1,3216	43,835
1,4960	78,106	1,4228	60,572	1,3163	43,038
1,4940	77,309	1,4189	59,775	1,3110	42,241
1,4910	76,512	1,4147	58,978	1,3056	41,444
1,4880	75,715	1,4107	58,181	1,3001	40,647
1,4850	74,918	1,4065	57,384	1,2947	39,850
1,4820	74,121	1,4023	56,587	1,2887	39,053
1,4790	73,324	1,3978	55,790	1,2826	38,256
1,4760	72,527	1,3945	54,993	1,2765	37,459
1,4730	71,730	1,3882	54,196	1,2705	36,662
1,4700	70,933	1,3833	53,399	1,2644	35,865
1,4670	70,136	1,3783	52,602	1,2583	35,068
1,4640	69,339	1,3732	51,805	1,2523	34,271
1,4600	68,542	1,3681	51,068	1,2462	33,474
1,4570	67,745	1,3630	50,211	1,2402	32,677
1,4530	66,948	1,3579	49,414	1,2341	31,880
1,4500	66,155	1,3529	48,617	1,2277	31,083
1,4460	65,354	1,3477	47,820	1,2212	30,286
1,4424	64,557	1,3427	47,023	1,2148	29,489
1,4385	63,760	1,3376	46,226	1,2084	28,692
1,4346	62,963	1,3323	45,429	1,2019	27,895

SUITE DE LA TABLE.

Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique	Acide dans 100.
1,1958	27,098	1,1227	17,534	1,0540	7,970
1,1895	26,301	1,1168	16,737	1,0485	7,173
1,1833	25,504	1,1109	15,940	1,0430	6,376
1,1770	24,707	1,1051	15,143	1,0375	5,579
1,1709	23,910	1,0993	14,346	1,0320	4,782
1,1648	23,113	1,0935	13,549	1,0267	3,985
1,1587	22,316	1,0878	12,752	1,0212	3,188
1,1526	21,519	1,0821	11,955	1,0159	2,391
1,1465	20,722	1,0764	11,158	1,0106	1,594
1,1403	19,925	1,0708	10,361	1,0053	0,797
1,1345	19,128	1,0651	9,564		
1,1286	18,331	1,0595	8,767		

On trouvera dans la table ci-dessous la constitution de l'acide nitrique de densités différentes.

Pesant. spéc.		Acide.		Eau.
1,485	est composé de	1 atome	+	2 atomes.
1,450	. . . . .	1 . . .	+	3
1,419	. . . . .	1 . . .	+	4
1,394	. . . . .	1 . . .	+	5
1,360	. . . . .	1 . . .	+	6
1,337	. . . . .	1 . . .	+	7
1,316	. . . . .	1 . . .	+	8
1,295	. . . . .	1 . . .	+	9
1,276	. . . . .	1 . . .	+	10
2,260	. . . . .	1 . . .	+	11
1,246	. . . . .	1 . . .	+	12

La pesanteur spécifique d'un composé formé de 1 atome acide + 1 atome eau serait probablement de 1,5945.[1]

De l'Acide borique.

M. Berzélius retira de 100 parties de cet acide 44

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 84.

parties d'eau. Si nous considérons cette analyse comme exacte, et M. Thomson la préfère, parce qu'elle coïncide presque avec ses propres expériences; et en supposant de plus que cet acide est un composé de 1 atome acide et 2 atomes eau, alors le poids de 1 atome d'acide borique sera 2,863. Si l'on évaluait le poids d'un atome d'acide borique à 2,875, et qu'on le considérât sous la forme d'écailles, comme consistant en 1 atome acide et 2 atomes eau, la constitution réelle de ces écailles serait

Acide.	56,1
Eau.	43,9
	100,0

Or, je n'ai pu m'assurer par moi-même, dit M. Thomson, si cette constitution n'est pas réellement celle de l'hydrate. Les expériences faites avec le plus de soin n'ont pas dévié de $\frac{1}{1000}$ de partie des nombres indiqués par la théorie, d'où il suit, que je me regarde comme autorisé à considérer celui 2,875 comme étant le poids d'un atome d'acide borique, et à établir cet acide comme consistant dans

Bore.	0,875.	100
Oxigène. . . .	2,000.	228,57
	2,875.[1]	

Propriété nouvelle.

Le hasard a fait découvrir dernièrement, dans l'acide borique, une propriété nouvelle. Lorsque cet acide est pur, il n'a aucune action sur le papier de curcuma; mais il acquiert, par son mélange avec les acides minéraux, la propriété de convertir la couleur jaune de ce papier en une teinte orangée, qui passe au rouge vif par un grand excès d'acide, et devient bleue par les alcalis. Il suffit même d'ajouter quelques gouttes d'une dissolution d'acide borique à 20 grammes d'eau aiguisée d'un acide minéral, pour faire prendre, après quelques instans de contact, au papier de curcuma des nuances nouvelles.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 99.

Il avait bien été déjà remarqué par quelques chimistes, que les acides phosphorique, sulfurique, nitrique et hydro-chlorique, pouvaient agir sur le curcuma, à peu près, à la manière des alcalis ; mais cette action diffère de celle de l'acide borique, en ce qu'elle ne peut avoir lieu qu'autant qu'ils sont concentrés ; tandis que l'acide borique peut altérer la couleur du curcuma, quoique très-étendu d'eau, pourvu qu'on ajoute à cet acide quelques gouttes d'un acide minéral ; et de plus, le papier de curcuma, bruni ou rougi par les acides ci-dessus énoncés, redevient jaune par le lavage, et conserve sa faculté primitive de rougir par les alcalis ; tandis que son contact avec l'acide borique mêlé à un autre acide, altère tellement sa couleur, que cette altération lui fait acquérir des propriétés qui le rapprochent du tournesol. Il résulte de ces effets, que produit sur le papier de curcuma auquel il donne des propriétés tout-à-fait nouvelles, le contact de l'acide borique mêlé aux acides minéraux, que dans certaines analyses, il serait possible qu'on s'en aidât pour reconnaître de très-petites quantités d'acide borique.[1]

De l'acide phosphorique.

M. Thomson observe, que d'après les faits établis relativement à l'acide phosphorique, il ne paraît pas y avoir lieu de douter que cet acide est un composé de 1 atome phosphore + 2 atomes oxigène, ou de

Phosphore.	1,5 . . .	100
Oxigène.	2,5 . . .	133,33

d'où il suit, que le poids d'une molécule intégrante de cet acide doit être 3,5. Ce nombre ne s'accorde pas avec l'analyse des phosphates, faites jusqu'à présent par M. Berzélius. D'après ses expériences, le nombre équivalent pour l'acide phosphorique est 4,5 ; mais comme ce nombre ne s'accorde pas avec la détermination expérimentale qu'il a lui-même donnée de la composition

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 55.

de l'acide phosphorique, on peut sans hésiter en conclure que dans son analyse des phosphates, il a commis quelque erreur.[1]

De l'acide hypo-sulfureux.

Préparation. La dissolution du sulfure de chaux dans l'eau produit un liquide coloré en jaune verdâtre, avec odeur de gaz hydrogène sulfuré, et précipitant tous les métaux de leurs dissolutions. Cette liqueur, gardée quelque temps, devient par degrés, incolore et perd son odeur particulière. Si alors on l'évapore, elle fournit de gros cristaux, ayant le plus ordinairement, la forme de prismes hexaèdres, et d'une saveur excessivement amère. Ces cristaux consistent dans l'acide hypo-sulfureux et la chaux, unis ensemble dans la proportion, suivant l'analyse de M. Herschell, de 2 atomes d'acide et 1 atome chaux, unis à 6 atomes d'eau ; d'où il suit, que les parties constituantes de ce sel doivent être :

Acide hypo-sulfureux..	6,000	ou	36,64
Chaux.	3,625	ou	22,14
Eau.	6,750	ou	41,22
	16,375		100,00

On peut obtenir aisément de ce sel, qu'on se procure avec facilité en faisant passer un courant de gaz acide sulfureux à travers du sulfure hydrogéné de chaux, les autres hypo-sulfites. Ces sels sont incolores, et, sauf une ou deux exceptions, solubles dans l'eau. Leur saveur est le plus communément amère, quoique celle de quelques sulfites métalliques soit fortement sucrée.

L'acide hypo-sulfureux n'existe point isolé. Lorsqu'on essaie de décomposer les hypo-sulfites, on peut presque toujours résoudre leur acide, en acide sulfureux et en soufre. L'acide hypo-sulfureux est comme on l'a déjà dit, formé de

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 108.

1 atome soufre. . . . . = 2 ou 100
1 atome oxigène. . . . . = 1 ou 50

Les hypo-sulfites précipitent l'argent du nitrate de ce métal, à l'état de sulfure. Plusieurs de ces sels ont la propriété de dissoudre et de retenir en dissolution le chlorure d'argent.[1]

De l'acide hypo-sulfurique.

On se procure cet acide, récemment découvert par MM. Gay Lussac et Welter, en faisant passer un courant de gaz acide sulfureux à travers de l'eau tenant en suspension du peroxide de manganèse ; après avoir alors ajouté, jusqu'à excès, de l'eau, de baryte à la liqueur, on la filtre et on en précipite ensuite l'excès de baryte au moyen d'un courant de gaz acide carbonique. On y verse ensuite de l'acide sulfurique en quantité suffisante pour précipiter la totalité de la baryte en état de combinaison avec l'acide hypo-sulfurique. En filtrant alors de nouveau le liquide, il n'est plus qu'une dissolution d'acide hypo-sulfurique dans l'eau. Préparation

L'acide ainsi obtenu est incolore ; il n'a pas d'odeur, mais une saveur fortement acide : placé sous le récipient de la machine pneumatique avec de l'acide sulfurique, on peut le concentrer jusqu'à lui faire acquérir la densité de 1,347, sans qu'il éprouve de décomposition ; mais si la concentration est poussée plus loin, ou si l'on applique la chaleur à l'acide concentré, il est décomposé en acides sulfureux et sulfurique, dont le premier se dégage et l'autre reste en dissolution.

L'acide hypo-sulfurique n'est point altéré à froid par le chlore, l'acide nitrique concentré, et le sulfate rouge de manganèse. Il sature les différentes bases et paraît susceptible de former avec toutes des sels solubles auxquels on a donné le nom d'hypo-sulfates. MM. Gay-Lussac et Welter ont fait voir, que la composition de cet acide consiste dans l'union d'une molécule intégrante d'acide sulfurique et d'une molécule intégrante d'acide sulfureux ; et que, par conséquent, ses parties consti-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 120.

tuantes doivent être :

2 atomes soufre.	= 4
5 atomes oxigène. . . .	= 5
	9

d'où il suit, que le nombre équivalent pour l'acide hyposulfurique est 9.[1]

De l'acide sélénique.

Préparation. On forme aisément l'acide sélénique, en versant sur le sélénium de l'acide nitrique, ou de l'acide nitro-muriatique, et en chauffant le mélange; il se produit une vive effervescence, le sélénium se dissout, et il est converti en acide sélénique. En laissant ensuite lentement refroidir la dissolution, il s'y dépose de grands prismes hexaèdres ressemblant aux cristaux de nitrate de potasse. Lorsqu'on soumet ces cristaux à l'action de la chaleur, leur eau de cristallisation se volatilise, et l'acide reste sous la forme d'une masse blanche. Si l'on augmente la chaleur, l'acide lui-même est converti, sans avoir éprouvé de fusion, en une vapeur qu'il est difficile de distinguer de celle de chlore. La température à laquelle cette vapeur de l'acide sélénique se forme, est inférieure à celle du terme d'ébullition de l'acide sulfurique. La vapeur se condense sur les parties froides de l'appareil, sous la forme de très-longues aiguilles tétraèdres; ou si la partie supérieure de l'appareil, où la vapeur se condense, est un peu chaude, l'acide s'y dépose sous la forme d'une masse dense, blanche, offrant quelque apparence de fusion et demi-transparente. Les cristaux d'acide sélénique exposés à l'air, attirent l'humidité; ils y perdent leur éclat; leur surface devient terne; mais ils ne se résolvent point en liquide.

Propriétés. L'acide sélénique a une saveur acide, qui laisse sur la langue une sensation brûlante. Dans son état de gaz, son odeur est celle piquante des acides en général,

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 121; *Annals of philosophy*, XIV, 352.

sans en avoir une particulière qui lui soit propre. Cet acide est très-soluble dans l'eau froide, et en toutes proportions dans l'eau bouillante. Sa dissolution aqueuse saturée, cristallise en se refroidissant, en petits grains ou en prismes striés, suivant la rapidité ou la lenteur du refroidissement. Cet acide est aussi très-soluble dans l'alcool.

L'acide sélénique forme par sa distillation avec l'alcool, un éther. Il se réduit un peu de sélénium, et l'acide qui reste dans la cornue est coloré en rouge à raison de l'excès de sélénium qu'il contient. Lorsqu'on distille ensemble un mélange d'acide sélénique, d'acide sulfurique et d'alcool, la substance qui passe dans le récipient a une mauvaise odeur insupportable; et en même temps il se réduit une quantité considérable de sélénium.

Si, dans un mélange de l'acide sélénique avec de l'acide hydrochlorique, on introduit une lame de zinc, l'acide sélénique est décomposé, et le sélénium abondamment précipité. Dans toute dissolution, la décomposition de l'acide sélénique s'opère facilement, en rendant la dissolution légèrement acide, en y ajoutant du sulfate d'ammoniaque, et en faisant bouillir le mélange; l'acide laisse dégager l'acide sulfureux, qui enlève à l'acide sélénique son oxigène, et le sélénium se précipite, par degrés, à l'état d'une poudre presque noire.

On a donné le nom de *sélénniates* aux sels que l'acide sélénique forme en se combinant avec des bases. Cet acide étant formé de 1 atome sélénium, et de 2 atomes oxigène, ses parties constituantes sont : Composition.

Sélénium.....	5,125
Oxigène.....	2,000
	7,125

De manière que le poids d'une molécule intégrante de ces acides est, 7,125.[1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 122; Annales de chimie et de physique, tome IX, pages 177 et 225.

De l'acide chromique.

En faisant bouillir de l'acide sulfurique étendu sur du chromate de plomb ou de baryte, en grand excès, l'acide chromique qu'on obtient n'est jamais pur; il retient beaucoup d'acide sulfurique, lors même qu'on emploie dix fois plus de ce dernier acide, qu'il n'en faut pour décomposer le chromate employé. Par des évaporations successives, le liquide, contenant ainsi les deux acides, cristallise en totalité en petits prismes quadrangulaires d'un rouge foncé. Si la chaleur et la concentration étaient poussées trop loin, il se dégagerait de l'oxigène, et il se formerait du sulfate d'oxide vert de chrôme. Les cristaux, obtenus par les évaporations, très-solubles dans l'eau, et même déliquescens, sont composés d'un atome d'acide sulfurique, et d'un atome d'acide chromique. On a procédé à leur analyse en les faisant d'abord bouillir avec un mélange d'acide hydrochlorique et d'alcool, afin de décomposer l'acide chromique et le changer en oxide vert; le liquide ayant ensuite été divisé en deux portions égales, l'une, précipitée par le chlorure de barium, a donné l'acide sulfurique; et l'autre, décomposée par l'ammoniaque, a fourni l'oxide de chrôme, et par conséquent l'acide chromique. On peut obtenir immédiatement le composé d'acide sulfurique et d'acide chromique, en mêlant l'un et l'autre de ces acides dans un état convenable de concentration; il se produit aussitôt un précipité rouge. L'acide nitrique ne paraît pas contracter une union bien intime avec l'acide chromique, car il ne cristallise point avec lui, et une chaleur modérée l'en sépare complétement.[1]

ACIDES COMBUSTIBLES.

De l'Acide méconique.

Histoire. Cet acide existe dans l'opium, combiné probablement avec la morphine. M. Sertuerner, qui en fit la découverte, lui donna le nom d'*acide méconique*, du mot grec μηκων,

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 102.

pavot. Il a été proposé divers procédés pour extraire cet acide de l'infusion d'opium; mais aucun d'eux ne semble bien convenable. Celui qu'indique M. Robiquet, donne de l'acide méconique, mais on ne peut parvenir par son emploi à obtenir la totalité de cet acide, qui existe dans l'infusion.

Préparation.

Après avoir fait bouillir l'infusion d'opium avec une quantité de magnésie plus que suffisante pour précipiter la totalité de la morphine, on met le précipité en digestion dans l'alcool, jusqu'à dissolution complète de la morphine. Il reste une certaine quantité de magnésie, à l'état d'union avec l'acide méconique. L'acide sulfurique dissout cette matière avec laquelle il forme un liquide de couleur brune. En versant de l'hydro-chlorate de baryte dans cette dissolution, il se produit un précipité, consistant dans du sulfate de baryte, et du méconate de baryte, légèrement rosé. De l'acide sulfurique faible, laissé pendant long-temps en digestion sur ce précipité, décompose le méconate; l'acide méconique se dissout dans l'eau, et le sulfate de baryte reste. En faisant alors évaporer la liqueur, l'acide méconique se dépose en cristaux bruns. Cet acide est alors accompagné d'une matière colorante, qui le rendant beaucoup moins soluble dans l'eau, donne lieu au méconate de magnésie et de baryte de se précipiter; car ces sels, lorsqu'ils sont purs, se dissolvent dans l'eau. Après avoir fait sécher les cristaux bruns à une basse température, on les expose à une température plus élevée, mais qui ne suffit pas pour décomposer la matière colorante; l'acide méconique se sublime et se dépose sur la partie supérieure de la cornue.

L'acide méconique ainsi obtenu est blanc. Il cristallise ordinairement en longues aiguilles, ou lames carrées, quoiqu'il affecte quelquefois d'autres formes. Chauffé à la température d'environ 66° centigrades, il se fond, et dès qu'il est fondu il commence à se sublimer, sans éprouver de décomposition.

Propriétés.

L'acide méconique est extrêmement soluble, et dans l'eau et dans l'alcool. Sa saveur est acide, et il rougit les couleurs bleues végétales. Il se combine avec les différentes bases, et forme, par ces combinaisons, des sels qu'on a distingués par la dénomination de *méconates*. Les

méconates de potasse, de soude et d'ammoniaque, sont solubles dans l'eau; il en est de même des méconates de baryte, de chaux et de magnésie.

Lorsqu'on verse de l'acide méconique dans des dissolutions de peroxide de fer, il se produit une forte couleur rouge, changement semblable à celui qu'occasione, dans les mêmes dissolutions, l'acide sulfo-cyanique; mais il ne donne lieu à aucun précipité dans les liquides. Cet acide, introduit dans une dissolution de sulfate de cuivre, fait passer la couleur du liquide au beau vert d'émeraude. Il ne se forme point d'abord de précipité, mais à la fin il se dépose une poudre d'un jaune pâle. L'acide méconique donne également lieu à la longue à un précipité dans la dissolution du per-chlorure de mercure.[1]

De l'acide lampique.

Découverte. Ce fut sir Humphry Davy, qui, dans une expérience intéressante, reconnut, le premier, qu'en plongeant un fil de platine chaud dans de la vapeur d'éther, ce fil devenait rouge de chaleur, et continuait de l'être ainsi jusqu'à ce que la vapeur d'éther eût été entièrement consumée, et que pendant cette décomposition de l'éther, il se formait un acide particulier. M. Faraday fit depuis quelques expériences sur cet acide; mais c'est à M. Daniell que nous sommes redevables d'une description satisfaisante de ses propriétés. Après avoir adapté à une lampe à esprit-de-vin du fil de platine disposé à la manière d'une mèche ordinaire, il remplit cette lampe d'éther qu'il enflamma, et tout étant convenablement préparé, il la plaça sous le chapiteau d'un alambic ordinaire, au bec duquel fut ajusté un récipient. La mèche de fil de platine devint immédiatement rouge de chaleur, et se maintint dans cet état pendant six semaines entières; et au bout de ce temps, M. Daniell recueillit environ sept décilitres de la vapeur d'éther condensée. C'est à ce liquide qu'il a trouvé convenable de donner le nom d'*acide lampique*.

Propriétés. L'acide lampique, ainsi recueilli, est une liqueur incolore ayant une saveur fortement acide et une odeur

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 158; Annales de chimie et de physique, tome V, page 277.

piquante. Cette liqueur étant chauffée, la vapeur qui s'en exhale est extrêmement irritante et désagréable; et lorsqu'on la respire, elle occasione une oppression qui ressemble beaucoup à l'effet produit par le chlore.

Sa pesanteur spécifique varie de 1,000 et au-dessous, à 1,008.

On peut rendre ce liquide plus pur en l'évaporant avec ménagement; et la vapeur qui s'en élève, suivant M. Daniell, n'est pas celle d'éther mais bien une vapeur d'alcool. La pesanteur spécifique de la liqueur ainsi rectifiée est 1,015. Elle rougit les couleurs bleues végétales.

M. Daniell, ayant combiné l'acide lampique avec les différentes bases, trouva que tous les lampates terreux et alcalins sont solubles dans l'eau, et jouissent à peu près, autant qu'il les a décrites, des propriétés des acétates correspondans.

L'acide lampique précipite à l'état métallique l'or, le platine, l'argent et le mercure de leurs dissolutions acides. Le lampate de cuivre cristallise en rhomboïdes bleus. Le lampate de plomb est un sel blanc cristallisable, d'une saveur sucrée. Lorsqu'on mêle de l'acide sulfurique avec l'acide lampique, la couleur devient noire, et il se sépare du charbon. Lorsque l'or, le platine, l'argent et le mercure sont précipités à l'état métallique par l'acide lampique, il y a dégagement de gaz acide carbonique.

M. Daniell détermina la composition des lampates de soude et de baryte, ainsi qu'il suit :

Lampate de soude.			Lampate de baryte.		
Acide. . .	62,1	6,554.	Acide. . .	39,5	6,365
Soude. . .	37,9	4,000.	Baryte. . .	60,5	9,750

Le résultat d'une autre expérience a donné, pour la composition de l'acide lampique :

Acide, ...	40,2 . . .	6,554
Baryte.	59,8 . . .	9,750

Ainsi le nombre équivalent, pour l'acide lampique, est, d'après l'analyse du lampate de soude, 6,365, ou, suivant deux analyses différentes du lampate de baryte, 6,554. Il est à remarquer combien ces nombres se rapprochent

Semble être le même que l'acide acétique.

de celui 6,375, poids d'une molécule intégrante d'acide acétique. D'après cette coïncidence et les propriétés des lampates, telles que les établit M. Daniell, M. Thomson annonce qu'il est porté à soupçonner que l'acide lampique n'est autre chose que l'acide acétique masqué par la présence d'un peu d'éther et d'alcool, ou de quelque matière huileuse formée pendant la combustion lente de l'éther. La présence d'éther, ou même d'alcool, expliquerait la précipitation à l'état métallique des métaux ci-dessus énoncés, tandis que les sels formés semblent être des acétates. Le seul fait qui paraît ne pas s'accorder avec cette supposition, est la couleur bleue par laquelle, suivant M. Daniell, le lampate de cuivre se distingue; car il est bien connu que l'acétate de cuivre a la couleur d'un vert-de-gris.

M. Daniell essaya de faire l'analyse de l'acide lampique en brûlant du lampate de baryte avec du chlorate de potasse. Il consuma 473 milligrammes de ce sel, contenant 188 milligrammes d'acide lampique. Le seul produit qu'il obtint, consistait dans environ 150 centimètres cubes de gaz acide carbonique; 65,5 centimètres cubes de l'oxigène abandonné par le chlorate de potasse, avaient disparu, indépendamment de la quantité qui en existait dans l'acide carbonique. Or, 65,5 centimètres cubes de gaz oxigène, doivent s'être unis, pour former de l'eau, avec 131 centimètres cubes de gaz hydrogène; d'où il suit, que les élémens dégagés dans cette expérience, de 188 milligrammes d'acide lampique, furent:

	millig.
150 centimètres cubes de gaz acide carbonique	= 75
131 centimètres cubes d'hydrogène.	= 11
Total.	86

Cette quantité de 86 milligrammes, soustraite de celle de 188 milligrammes, poids primitif de l'acide lampique, donne pour reste 102 milligrammes, que M. Daniell suppose s'être dégagés à l'état d'eau. Or, 102 milligrammes d'eau équivalent à peu près à 131 centimètres cubes de vapeur, et ce volume de vapeur se résout en 65,6 centimètres cubes de gaz oxigène et 131

centimètres cubes de gaz hydrogène ; et si, à ces quantités, on ajoute le carbone et l'hydrogène premièrement dégagés, on voit que les 188 milligrammes d'acide lampique sont représentés par

9 volumes carbone. . .	=4,5	atomes carbone. .	=3,375
16 volumes hydrogène.	=8	atomes hydrogène.	= 1
4 volumes oxigène. . .	=4	atomes oxigène. . .	= 4
			8,375

Mais, comme le nombre 8,375, poids de l'atome d'acide lampique, ne correspond pas avec le nombre équivalent pour l'acide, déduit de l'analyse du lampate de soude et du lampate de baryte, il est évident que M. Daniell a dû commettre quelque erreur. Et en effet, il est douteux que le mode qu'il avait adopté soit susceptible d'un grand degré de précision. Il a été abandonné par M. Gay-Lussac lui-même qui en eut le premier l'idée.[1]

De l'acide pyro-mucique.

En calcinant dans une cornue l'acide appelé *Sac-lactique*, et depuis *mucique*, M. Houtou-la-Billardière obtint un acide particulier auquel il donna le nom d'*acide pyro-mucique*, à raison de l'analogie de sa formation avec l'acide pyro-tartarique. Les produits de la distillation ayant été mêlés avec quatre fois leur poids d'eau, et la liqueur filtrée, soumise à l'évaporation à un degré convenable, le nouvel acide s'y dépose en cristaux, et ces crystaux étant séparés, il s'en forme encore en évaporant de nouveau l'eau mère.

L'acide pyro-mucique, ainsi obtenu, commence à fondre à la température de 130 degrés centigrades ; et si la chaleur est continuée, il se sublime en cristaux colorés en jaune, qui étant dissous dans l'eau, deviennent, par une nouvelle cristallisation dans cette liqueur évaporée, parfaitement blancs et purs. L'acide pyro-mucique est Propriétés.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 160; Journal des sciences et arts, tome VI, page 318.

blanc, inodore, et d'une saveur acide; il fond à la température de 130 degrés centigrades; et au-dessus de cette température, il se sublime et se condense en un liquide qui se solidifie par le refroidissement. Cet acide n'est pas déliquescent, il rougit les couleurs bleues végétales; il est plus soluble dans l'eau chaude que dans ce liquide froid. L'alcool le dissout plus abondamment que l'eau; les sels que l'acide pyro-mucique forme avec les bases, ont reçu le nom de *pyro-mucates*. Ces sels sont, pour la plupart, solubles et cristallisables. Suivant l'analyse de M. Houtou-la-Billardière, le pyro-mucate de baryte est composé de

Acide.	57,7	13,331
Baryte.	42,2	9,75
	99,9	

D'où il suit, que le nombre équivalent, pour l'acide pyro-mucique, est 13,331.

Cet acide, analysé par le moyen du peroxide de cuivre, donna, pour le rapport de ses élémens :

Ses parties constituantes.

Carbone.	52,118
Oxigène.	45,806
Hydrogène.	2,111
	110,35

Le nombre d'atomes, qui se rapproche le plus de ces proportions, et le nombre équivalent pour l'acide, tel que l'indique l'analyse du pyro-mucate de baryte, sont ainsi qu'il suit :

9 atomes carbone	=	6,75	51,43
6 atomes oxigène	=	6,00	45,71
3 atomes hydrogène	=	0,375	2,86
		13,125	100,00

D'où il résulte, que le nombre équivalent, pour l'acide n'est que de 13,125, au lieu de 13,331. Cette différence, qui n'excède pas 0,2, peut bien être admise dans

une première analyse d'un sel auquel il doit être difficile d'enlever complétement son eau de cristallisation. [1]

De l'Acide oxalique.

M. Thomson annonce qu'il est disposé à considérer l'hydrogène, dont on a reconnu la présence dans toutes les analyses de l'oxalate de plomb, comme dérivant d'une portion d'eau qu'il avait été impossible d'enlever à l'acide. Il fait observer que la proportion d'hydrogène diminue en raison du soin qu'on a pris de dessécher le sel à employer, avant de le soumettre à la décomposition. La quantité d'hydrogène, trouvée par M. Berzélius, qui mit le plus grand soin à dessécher son sel, avant d'en faire l'analyse, ne s'élève qu'au $\frac{1}{10}$ d'un atome, quantité tellement insignifiante, qu'on ne peut la supposer comme un élément réel de l'acide. Mais s'il n'existe point d'hydrogène dans l'acide, il est évidemment un composé de 1 partie en poids de carbone et 2 parties d'oxigène, ou de deux atomes carbone, + 3 atomes oxigène, ou d'une molécule intégrante d'acide carbonique, et d'une molécule intégrante d'oxide de carbone; d'où il suit, que le véritable nombre équivalent pour l'acide oxalique, doit être 4,5. [2]

De l'acide urique.

M. Thomson observe que le docteur Prout, qui analysa avec le plus grand soin l'acide urique, au moyen du peroxide de cuivre, le trouva composé de, savoir :

1 atome hydrogène.	=	0,125
5 atomes carbone.	=	2,250
1 atome azote.	=	1,750
1 atome oxigène.	=	1,500
		5,625

D'après cette analyse, le nombre équivalent pour l'acide

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 164; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 365.
[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 170.

urique est 5,625. Si l'on doublait, dans cette analyse, le nombre d'atomes pour faire disparaître le demi-atome d'oxigène, le nombre équivalent pour l'acide serait 11,250. Lequel de ces nombres est le véritable, c'est ce qu'on ne peut connaître qu'en soumettant quelques-uns des urates à une analyse soignée, ce que personne n'a jusqu'à présent entrepris.[1]

MM. Lassaigne et Chevallier, ayant soumis à la distillation dans une cornue, de l'acide urique pur, et traité de la même manière des calculs d'acide urique et d'urate d'ammoniaque, préalablement réduits en poudre et lavés avec un peu d'eau bouillante, ils ont constamment obtenu, entre autres produits, des cristaux en belles lames brillantes, d'un blanc d'argent qu'ils reconnurent être un sel acide à base d'ammoniaque, et dont ils parvinrent à séparer l'acide à l'état de pureté. Ils crurent devoir désigner cet acide particulier par le nom d'acide *pyro-urique*, comme étant produit par l'action de la chaleur sur l'acide urique, et comme se formant dans les mêmes circonstances que les acides pyro-tartarique, pyro-mucique et pyro-malique.

L'acide pyro-urique, obtenu par MM. Lassaigne et Chevallier, est blanc, cristallisé en petites aiguilles, et craquant un peu sous la dent. Soumis à l'action de la chaleur, il se fond et se sublime entièrement en aiguilles blanches. En le faisant traverser un tube de verre rouge de feu, il se décompose en charbon, en huile, en hydrogène carboné, et en carbonate d'ammoniaque. L'eau froide en dissout environ les 0,025 de son poids; sa dissolution aqueuse rougit la teinture de tournesol. L'alcool à 36 degrés, bouillant, en opère la dissolution par le refroidissement de cette dissolution alcoolique; l'acide se précipite sous la forme de petits grains blancs.

Propriétés.

L'acide nitrique concentré dissout cet acide; par l'évaporation à siccité, on l'obtient de cette dissolution sans qu'il ait subi aucune altération et éprouvé de changement dans ses propriétés, ce qui prouve qu'il diffère essentiellement de l'acide urique, qui, par cette opération, est converti en acide purpurique.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 187.

L'acide pyro-urique forme par sa combinaison avec la chaux, la baryte, l'ammoniaque et la soude, des sels qui sont des pyro-urates ; savoir, avec la chaux un sel soluble, d'une saveur amère et âcre, qui cristallise en mamelons ; avec la baryte, un sel blanc et pulvérulent, peu soluble dans l'eau froide. Avec la potasse, l'ammoniaque et la soude des sels solubles, dont les deux premiers sont cristallisables.

Les pyro-urates de fer au *maximum*, de deutoxide de cuivre, d'argent, de mercure et de sous-acérote de plomb, sont insolubles. En calcinant dans un tube de verre pesé, du sous-pyro-urate de plomb desséché, avec vingt fois son poids d'oxide de cuivre au *maximum*, MM. Lassaigne et Chevallier ont obtenu un gaz composé d'acide carbonique et d'azote, dans le rapport de 4 à 1, et ils ont trouvé que le rapport en poids de ses élémens est, savoir :

Oxigène.	44,32
Carboue.	28,29
Azote.	16,84
Hydrogène.	10,00
	99,45

Il suit de ces résultats que, dans l'acide pyro-urique, le rapport du carbone à l'azote est précisément double de celui de l'acide urique, dans lequel le rapport est, suivant M. Gay-Lussac, : : 2 : 1.[1]

De l'acide purpurique.

Le docteur Prout découvrit en 1818 cet acide en examinant la substance de couleur pourpre qui se produit lorsqu'on chauffe une dissolution d'acide urique dans l'acide nitrique.

Ce savant ayant fait digérer de l'acide urique dans de l'acide nitrique étendu, il y eut effervescence, et l'acide urique fut dissous. Après avoir neutralisé, par l'ammoniaque, l'excès d'acide nitrique, il fit évaporer la li-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIII, page 155.

queur. Sa couleur devint par degrés d'un pourpre de plus en plus foncé, et bientôt des cristaux grenus, d'un rouge obscur, quelquefois d'une teinte verdâtre à l'extérieur, commencèrent à se séparer en abondance. Ces cristaux, qui étaient composés d'acide purpurique et d'ammoniaque, ayant été dissous dans une lessive de potasse caustique, on chauffa la dissolution jusqu'à ce que la couleur rouge eut entièrement disparu. On versa alors peu à peu cette dissolution alcaline dans de l'acide sulfurique étendu qui, en s'unissant avec la potasse, laissa le principe acide à l'état de pureté.

L'acide purpurique ainsi obtenu, est sous la forme d'une poudre de couleur de crème qui, examinée à la loupe, et spécialement dans l'eau, a un éclat nacré. Elle est inodore et sans saveur. Sa pesanteur spécifique excède de beaucoup celle de l'eau, quoique, d'après son état de grande division, il soit ordinairement très-long-temps à se déposer dans ce liquide.

L'acide purpurique est très-peu soluble dans l'eau, dont 1000 parties n'en peuvent dissoudre qu'une de cet acide. L'alcool et l'éther ne l'attaquent point. Il se dissout aisément dans les acides minéraux concentrés, et dans les dissolutions alcalines; mais il est insoluble, ou à peu près tel, dans l'acide sulfurique étendu, dans les acides hydro-chlorique et phosphorique, et aussi dans les dissolutions acide, oxalique, tartarique et citrique. L'acide nitrique concentré dissout facilement l'acide purpurique avec effervescence, et il se produit du purpurate d'ammoniaque avec la chlore qui le dissout aussi; il s'opère un changement semblable. Cet acide se dissout, à l'acide de la chaleur, dans l'acide acétique concentré.

L'acide purpurique n'altère pas sensiblement la couleur du papier de tournesol. Il n'est point déliquescent à l'air; mais il y devient rouge par degrés, et il semble s'être formé du purpurate d'ammoniaque.

Soumis à l'action de la chaleur, il ne fond, ni ne se volatilise; mais il acquiert une nuance pourpre, due à la formation d'ammoniaque, et ensuite il brûle peu à peu sans exhaler aucune odeur remarquable; à la distillation, il fournit beaucoup de carbonate d'ammoniaque, de l'acide hydro-cyanique, un peu d'un fluide

d'apparence huileuse, et il reste un charbon pulvérulent.

L'acide purpurique se combine avec des bases, formant des sels qu'on a appelés *purpurates*. Ces sels sont, pour la plupart, de couleur rouge, et il y en a de verts et de jaunes. Cet acide peut, à l'aide de la chaleur, décomposer les carbonates; et, autant qu'on a pu le reconnaître, il n'est susceptible de combinaison avec aucun autre acide.

Le docteur Prout essaya de déterminer la composition de l'acide purpurique en le chauffant avec du peroxide de cuivre, les résultats de ses expériences lui donnèrent pour les parties constituantes de cet acide :

2 atomes hydrogène. . .	=	0,25
2 atomes carbone. . . .	=	1,50
1 atome azote.	=	1,75
2 atomes oxigène. . . .	=	2,00
		5,50

D'où il suit, que le nombre équivalent pour l'acide purpurique, est 5, 5, ou un multiple de ce nombre.

De l'acide malique.

On avait supposé que l'acide malique, obtenu de plusieurs plantes grasses, et surtout du *semper vivum-textorum*, était beaucoup plus pur que celui retiré des pommes. On l'avait même considéré comme tout-à-fait exempt d'impuretés ; mais M. Gay-Lussac reconnut que même l'acide extrait du semper vivum-textorum retient encore de la chaux, qu'on peut en séparer en l'évaporant jusqu'à consistance de sirop, et en le mêlant ensuite avec de l'alcool. Il se précipite du malate de chaux, et l'acide malique reste en dissolution dans l'alcool. Mais dans cet acide, lors même qu'il a été ainsi purifié, il reste de la matière muqueuse qui l'accompagnait dans le suc d'où il a été retiré, et il est difficile de l'en dé-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 187; Transactions philosophiques, 1818, page 420.

pouiller entièrement, ainsi que M. Braconnot l'a fait voir.[1]

De l'acide pyro-sorbique.

M. Braconnot, après avoir démontré que l'acide sorbique n'était autre chose que l'acide malique à l'état de plus grande pureté, annonça depuis, qu'en soumettant l'acide sorbique à la distillation, il se formait des cristaux blancs acides à la voûte de la cornue, et que le produit liquide obtenu était composé d'un acide cristallisable, jouissant de propriétés particulières, auquel il proposa de donner le nom d'*acide pyro-sorbique.*

M. J.-L. Lassaigne en répétant les expériences de M. Braconnot, a entrepris de nouvelles recherches sur cet acide dans le but d'étudier plus particulièrement quelques-unes de ses combinaisons, et de rendre ainsi son histoire plus complète.

Après avoir introduit 20 grammes d'acide sorbique cristallisé dans une cornue de verre, qu'il chauffa doucement, il observa qu'à mesure que l'eau de cristallisation de cet acide, dans laquelle il s'était d'abord fondu, s'en séparait, cet acide prenait une couleur jaune brunâtre, de plus en plus foncée; le produit, qui s'était condensé dans le récipient, était insipide et inodore, et sans action sur la teinture de tournesol; les réactifs n'y ayant démontré aucune trace de substances étrangères, il ne paraissait être que de l'eau pure. En augmentant progressivement la chaleur, l'acide s'est coloré en un brun très-foncé, s'est boursouflé, et a laissé distiller une liqueur blanche transparente, ayant une légère odeur bitumineuse, et d'une saveur si fortement acide qu'elle a cautérisé sur-le-champ les parties de la langue et des lèvres sur lesquelles il en avait été placé. A la fin de l'opération, il s'est sublimé, à la voûte de la cornue, des aiguilles blanches très-fines, d'environ 3 centimètres de longueur, et il est resté dans la cornue un charbon très-volumineux qui ne contenait plus aucune trace d'acide.

La liqueur obtenue de l'acide par distillation, après

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 190; Annales de chimie et de physique, tome VI, page 331, et tome VIII, page 140.

l'augmentation de la chaleur, ayant été évaporée à moitié de son volume, a fourni des cristaux blancs prismatiques d'acide pyro-sorbique.

Propriétés.

En examinant les propriétés de cet acide, M. Lassaigne lui a reconnu celles d'être inaltérable à l'air, de se fondre à la température de + 47, 5 degrés centigrades, et de se prendre par refroidissement, lorsqu'il est fondu, en une masse blanche nacrée, cristallisée en aiguilles divergentes. Cet acide, projeté sur des charbons ardens, s'exhale en une fumée blanche acide très-piquante, qui provoque la toux et ne laisse aucun résidu; en le distillant en vaisseaux clos, il se sublime, pour la plus grande partie, en longues aiguilles, et le reste se décompose à la manière des substances végétales.

L'acide pyro-sorbique est très-soluble dans l'alcool à 40 degrés. L'eau, à la température de + 10 degrés centigrades, n'en peut dissoudre qu'une demi-partie de son poids. Cette dissolution rougit fortement la teinture de tournesol; elle forme avec l'acétate de plomb, et le nitrate de mercure, des précipités floconneux; elle ne précipite point l'eau de chaux, et si l'on y verse de l'eau de baryte, il s'y produit un précipité blanc pulvérulent, qui se redissout par l'addition d'une petite quantité d'eau froide; et au bout de quelque temps, il se forme, sur les parois du vase qui contient la dissolution, de petites paillettes blanches argentines, qui sont un véritable *pyro-sorbate neutre de baryte*, qui ayant été desséché et analysé, a donné pour sa composition :

Acide.	100
Baryte.	185,142

Il s'ensuit, que la capacité de saturation de l'acide pyro-sorbique pour la baryte est plus grande que celle de l'acide sorbique; car d'après M. Vauquelin, 100 parties de ce dernier acide ne saturent que 112,751 de baryte.

Le sel formé par la combinaison directe de l'acide pyro-sorbique avec la potasse ou le *pyro-sorbate de potasse*, cristallise en petites feuilles de fougère; il est légèrement déliquescent; sa dissolution aqueuse ne précipite point les dissolutions de fer, de cuivre, de manganèse, de zinc, de nickel et de cobalt; mais elle produit, avec

les nitrates d'argent, de mercure et de plomb, des précipités floconneux.

En décomposant un sel de plomb soluble par le pyro-sorbate de potasse, on obtient facilement un pyro-sorbate de plomb, qui se présente d'abord en flocons blancs, et se convertit peu de temps après en une gelée demi-transparente, comme de l'amidon cuit dans l'eau. Si, après avoir alors délayé cette gelée dans de l'eau, on recueille la matière gélatineuse sur un filtre de papier joseph, elle s'affaisse à mesure que l'eau s'en sépare; et au bout de quelque temps, elle est totalement cristallisée en petites aiguilles nacrées très-brillantes.

M. Lassaigne continua ses recherches sur l'acide pyro-sorbique, en examinant avec soin les cristaux blancs en aiguilles, qui, dans la préparation de cet acide, s'étaient sublimés vers la fin de l'opération, à la partie supérieure de la cornue. Il reconnut que ces cristaux, sur lesquels M. Braconnot n'avait pas fait d'expériences, différaient de ceux obtenus par l'évaporation du produit liquide passé à la distillation. Ces cristaux sublimés ont une saveur acide légèrement âcre, et une odeur bitumineuse, qu'ils perdent par plusieurs cristallisations successivement reproduites dans l'eau.

L'eau, à la température de + 12 degrés centigrades, en dissout environ $\frac{1}{210}$ de son poids. Cette dissolution, qui ne précipite ni l'eau de chaux, ni l'eau de baryte, forme avec l'acétate de plomb un précipité blanc floconneux, soluble dans un excès de ce sel. Elle précipite le nitrate d'argent en une poudre blanche très-fine, et le persulfate de fer neutre, en flocons d'un jaune chamois. Ces deux derniers sels ne font éprouver aucun changement à l'acide pyro-sorbique dont il vient d'être parlé. La combinaison de cet acide avec la potasse produit un sel cristallisable, déliquescent. Avec l'oxide de plomb, il forme un sel blanc pulvérulent, grenu, qui ne cristallise point; et d'après les autres propriétés dont cet acide jouit, M. Lassaigne est porté à le considérer comme étant d'une nature particulière.

M. Lassaigne conclut de ses recherches sur l'acide, auquel M. Braconnot avait proposé de donner le nom d'acide *pyro-sorbique*, que les propriétés qu'il lui a reconnues,

et dont quelques-unes avaient déjà été observées par M Braconnot, suffisent pour le faire distinguer de l'acide sorbique; et il pense en effet que pour rappeler tout à la fois et son origine et sa préparation, cette dénomination lui convient parfaitement; à moins que, d'après l'observation de M. Gay-Lussac, les chimistes ne préfèrent conserver le nom d'acide malique à l'acide sorbique dont l'identité avec le premier acide est actuellement constaté. Dans ce cas, l'acide dont il s'agit s'appellerait *acide pyro-malique;* et cet acide formerait désormais avec les acides pyro-tartarique et pyro-mucique, dont il diffère sous plusieurs points, une nouvelle classe d'acides végétaux.[1]

De l'acide igasurique.

MM. Pelletier et Caventou, qui découvrirent dans la fève de Saint-Ignace la nouvelle substance alcaline appelée par eux *strychnine*, ont cru devoir distinguer un acide qui, dans cette semence, sature la strychnine, par le nom *d'acide igasurique*, du mot malais par lequel les indigènes désignent aux grandes Indes la fève de Saint-Ignace. Quoique, suivant M. Thomson, les caractères que MM. Pelletier et Caventou ont reconnus à l'acide igasurique suffisent à peine pour le constituer une espèce particulière, il a cru cependant devoir en parler provisoirement, et en attendant que, par des expériences subséquentes, il soit déterminé si cet acide diffère de l'acide malique ou sorbique, avec lequel il a beaucoup de propriétés communes.

Préparation.

MM. Pelletier et Caventou, après avoir lavé dans de l'eau froide, pour la dépouiller aussi complétement que possible de toute matière colorante, la magnésie, dont ils s'étaient servis pour séparer la strychnine de l'infusion de la fève de Saint-Ignace, ils firent bouillir cette magnésie dans une grande quantité d'eau distillée pour dissoudre le sel magnésien ou l'igasurate de magnésie. La dissolution ayant été alors concentrée par l'évaporation, ils y ajoutèrent de l'acétate de plomb. Une double décomposition ayant eu lieu, l'acide igasurique s'unit à l'oxide de

[1] Annales de chimie et de physique, tome XI, page 93.

plomb, et se précipita dans cet état d'union en une poudre insoluble. Cette poudre ayant été mêlée avec de l'eau, le plomb en fut séparé au moyen du gaz hydrogène sulfuré. L'acide igasurique reste en dissolution dans l'eau, et on peut l'en obtenir isolé en faisant évaporer le liquide.

Propriétés. Cet acide cristallise en petits cristaux durs et grenus, colorés en jaune, ce qui provient probablement de ce qu'il n'est pas suffisamment dépouillé de la matière colorante de la fève de Saint-Ignace. Sa saveur est acide et astringente. Il est très-soluble dans l'eau et dans l'alcool, et il en est de même des sels qu'il forme avec les alcalis et les terres L'igasurate de baryte est très-soluble, et il cristallise difficilement sous la forme de champignons. L'igasurate d'ammoniaque ne forme pas de précipité dans les sels d'argent, de mercure et de fer. Lorsqu'on l'ajoute à une dissolution de sel de cuivre, la liqueur devient verte, et il s'y dépose peu à peu une poudre d'un blanc verdâtre, très-peu soluble dans l'eau. L'acide igasurique n'altère pas la couleur des sels de fer.

Telles sont les propriétés qui, suivant MM. Pelletier et Caventou, caractérisent l'acide igasurique. Il se distingue de l'acide malique ou sorbique, en ce qu'il précipite le cuivre à l'état d'une poudre d'un blanc verdâtre, et par la solubilité de ses sels alcalins dans l'alcool. Mais par ses autres propriétés il se rapproche de très-près de cet acide.[1]

De l'acide lactique.

Lorsqu'on abandonne du riz et plusieurs autres substances végétales à la fermentation spontanée, ces substances acquièrent une saveur et une odeur d'acide. Cet acide ainsi formé fut examiné par M. Braconnot, qui, le considérant comme un acide nouveau, lui donna le nom d'acide *nancéique;* et dans sa précédente édition, M. Thomson changea cette dénomination, qui lui parut impropre, dans celle d'*acide zumique;* mais il annonça en même temps qu'il soupçonnait que cet acide, supposé nouveau,

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 194; Annales de chimie et de physique, tome X, page 167, et Journal de pharmacie, V, 166.

n'était autre que l'acide lactique à l'état de pureté. M. Thomson observe que son opinion à ce sujet a été depuis confirmée par M. Vogel, qui, ayant comparé les deux acides, a trouvé leurs caractères parfaitement identiques.

Il s'ensuit que l'acide lactique, dans son état de pureté, est incolore. Il n'est pas impossible qu'on parvînt à le faire cristalliser, s'il était placé dans les mêmes circonstances qui rendent l'acide malique capable de prendre la forme cristalline.[1]

De l'acide kramérique.

La *krameria triandria* est une plante qui croît au Pérou; sa racine, qui se distingue par ses propriétés astringentes, est, dit-on, employée par les naturels du pays, comme remède d'une grande efficacité, dans les cas d'hémorrhagie atonique. Elle est apportée en grandes quantités à Londres, où il paraît qu'on en fait usage pour donner aux vins qu'on y fabrique artificiellement la couleur convenable. Cette racine ayant récemment attiré l'attention de M. Peschier, pharmacien à Genève, il y découvrit un acide nouveau, qu'il a désigné sous le nom d'*acide kramérique*.

Préparation.

M. Peschier obtint l'acide kramérique en opérant ainsi qu'il suit : En faisant bouillir dans l'eau la racine, et particulièrement l'écorce de la krameria triandra, il eut une forte décoction d'une saveur astringente, et précipitant en noir avec le sulfate de fer. Pour en séparer le tannin, qu'il présumait y être contenu, il mêla la décoction, provenant de 30 grammes de la racine avec une dissolution de 3 grammes de gélatine, ce qui donna lieu à un dépôt d'un brun rougeâtre pesant 8 grammes. Pour dépouiller la décoction de sa matière colorante et de son acide gallique qui l'accompagnaient encore, il ajouta 13 grammes de sulfate de fer par chaque quantité de 30 grammes de la racine employée à faire la décoction; puis après avoir étendu la liqueur de 3 à 4 kilogrammes d'eau,

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 201; *Annals of philosophy*, XII, 391.

il la filtra. Elle devint ainsi presque incolore ; il fit alors bouillir cette liqueur avec une quantité de craie suffisante pour décomposer tout le sulfate de fer qu'elle retenait encore, et pour saturer l'acide kramérique qui y était présent. Après l'avoir ensuite filtrée et concentrée par l'évaporation à un degré convenable, il en précipita la chaux par du carbonate de potasse, et le kramérate de potasse par l'acétate de plomb. Le kramérate de plomb, lavé préalablement avec soin, fut décomposé par un courant de gaz hydrogène sulfuré, après quoi la liqueur ayant été filtrée et évaporée jusqu'à consistance convenable ; elle ne consistait plus que dans une dissolution d'acide kramérique dans l'eau.

Propriétés. L'acide kramérique, ainsi obtenu, est d'une saveur fortement acide, et laisse sur la langue une sensation styptique particulière. On ne peut le faire cristalliser ; il est sans action sur les sels de chaux et de magnésie ; mais il décompose tous les sels de baryte et de strontiane, formant avec chacune de ces terres deux sels, dont l'un à l'état de sur-sel, est soluble, et dont l'autre est un sous-sel qui ne se dissout point dans l'eau. Le kramérate de baryte n'est ni décomposé, ni altéré par l'acide sulfurique ; d'où il suit que l'acide kramérique a, pour la baryte, une affinité plus forte que l'acide sulfurique ; il précipite les sels de plomb blancs. Les kramérates de potasse, de soude, d'ammoniaque, de chaux et de baryte ; précipitent le sel de fer jaune. L'acide kramérique n'a pas d'action sensible sur les autres sels métalliques.

Le kramérate de potasse cristallise en prismes héxaèdres.

Le kramérate de soude affecte en cristallisant la même forme ; il est efflorescent à l'air.

Le kramérate d'ammoniaque fournit des cristaux en barbes de plumes.

Tous ces sels sont insolubles dans l'alcool ; ils ont peu de saveur, et leur addition à un sel de baryte y occasione un précipité.

Telles sont, suivant que M. Peschier annonce les avoir reconnues, les propriétés de l'acide kramérique. M. Thomson observe qu'elles ont besoin d'être vérifiées ; et, dans son opinion, rectifiées en plusieurs points, avant que

l'existence de l'acide, comme acide particulier, soit pleinement démontrée, et ses caractères exactement déterminés.[1]

De l'acide gallique.

M. Thomson annonce, que le procédé proposé, en 1818, par M. Braconnnot, pour la préparation et la purification de l'acide gallique, lui paraît réunir le double avantage d'être plus économique, et d'un meilleur produit qu'aucun de ceux précédemment indiqués. Dans ce procédé, qui n'est qu'un perfectionnement de celui de Schéele, M. Braconnot opérait ainsi qu'il suit : Après avoir fait digérer, pendant quatre jours, 250 grammes de noix de galle en poudre, dans un litre d'eau, en ayant soin de remuer de temps en temps le mélange, le tout fut jeté sur une toile, en y exprimant fortement le marc ; et le liquide ayant été filtré, on l'abandonna à lui-même dans un vase de verre ouvert depuis le 22 juillet jusqu'au 22 septembre, ou pendant deux mois. Au bout de ce temps, on trouva que la liqueur n'avait pas sensiblement diminué de volume ; mais il s'y était déposé une quantité considérable de cristaux d'acide gallique, qui furent séparés du liquide par une forte expression dans une toile. Ce liquide, séparé des cristaux, ayant été ensuite évaporé jusqu'à consistance de sirop, il fournit une nouvelle quantité de cristaux, qui furent séparés de la même manière. Le marc, provenant des noix de galle qui avaient produit la décoction, après avoir été humecté d'eau et abandonné à la fermentation spontanée, ensuite traité avec de l'eau bouillante, fournit une quantité additionnelle de cristaux. Dans ces différentes opérations, M. Braconnot obtint 62 grammes d'acide gallique ; mais cet acide était encore coloré et mélangé à une poudre insoluble ; il fit bouillir ces 62 grammes d'acide avec trois décilitres d'eau, et filtra la dissolution encore bouillante. La liqueur déposa, en se refroidissant, 40 grammes de cristaux d'acide gallique d'un blanc jaunâtre. L'eau-mère qui était brune, évaporée convenablement, donna encore 10 grammes des

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 202 ; Journal de pharmacie, VI, 54.

premiers cristaux obtenus. Pour dépouiller entièrement ces cristaux de leur matière colorante, on les mêla avec huit fois leur poids d'eau et cinq fois leur poids de noir d'ivoire, et ce mélange fut tenu pendant environ un quart d'heure à la température de l'ébullition. On le filtra encore chaud; et il se prit, par le refroidissement, en une masse de cristaux blancs parfaitement purs d'acide gallique; et ces cristaux furent séparés du liquide par expression dans une toile.

L'acide gallique, obtenu par ce procédé, est blanc comme de la neige et parfaitement pur. Sa saveur est faiblement acide, et il laisse dans la bouche un goût sucré. [1]

De l'acide ellagique.

C'est par ce nom, formé du mot renversé *galle*, que M. Braconnot a jugé convenable de distinguer une substance jouissant imparfaitement des propriétés acides, qu'il retira de la noix de galle en même temps qu'il en obtint l'acide gallique. Il paraîtrait, d'après une note de M. Chevreul, qu'il avait déjà annoncé, en 1815, la découverte de cet acide, et décrit plusieurs de ses propriétés dans la partie chimique de l'Encyclopédie méthodique, au mot *Tannin*, et qu'alors il ne lui avait pas donné de nom particulier, parce qu'il ne croyait pas l'avoir obtenu à l'état de pureté.

Préparation. M. Braconnot ayant filtré la dissolution d'acide gallique produite avec les cristaux qui s'étaient spontanément formés dans l'infusion de noix de galle, il resta sur le filtre une poudre qui consistait dans l'acide ellagique mêlé avec une certaine quantité de gallate de chaux. Pour la débarrasser de ce sel, M. Braconnot traita la poudre avec une dissolution faible de potasse, qui s'unit à l'acide avec dégagement très-sensible de chaleur. La liqueur, d'un jaune intense, ayant été filtrée et abandonnée à l'air, il s'y déposa peu à peu une quantité assez considérable de cristaux nacrés, qui, après avoir été séparés par le filtre, furent décomposés par de l'acide hydro-chlorique affaibli.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 204; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 181.

L'acide ellagique, ainsi obtenu, est sous la forme d'une poudre blanche avec une légère nuance de fauve. Il n'a point de saveur et n'est pas sensiblement soluble dans l'eau, lors même qu'elle est bouillante. Il ne décompose pas les carbonates alcalins, même à l'aide de la chaleur; mais il s'unit à la soude ou à la potasse caustique, et sature entièrement leurs propriétés. Ces combinaisons neutres sont indissolubles dans l'eau; mais elles le deviennent si l'on a préalablement dissout dans ce liquide un peu de potasse ou de soude, et la dissolution de ces sels prend alors une couleur fauve très-foncée. L'ellagate d'ammoniaque est également insoluble dans l'eau, et l'addition d'ammoniaque, même en excès, ne le rend pas susceptible de s'y dissoudre. Lorsqu'on agite l'acide ellagique dans de l'eau de chaux, il sépare cette terre des liquides. L'acide nitrique ne semble pas agir d'abord sur ces acides; mais, par une digestion prolongée, le mélange acquiert par degrés la couleur d'un rouge de sang. Propriétés.

L'acide ellagique ne forme aucune combinaison avec l'iode. Chauffé, il ne se fond pas, mais il brûle avec une sorte de scintillation; il laisse du charbon, et produit une vapeur jaune, qui se condense en cristaux transparens d'un beau jaune verdâtre. Ce sublimé est insipide et insoluble dans l'eau, dans l'alcool et dans l'éther; mais il se combine aisément à une dissolution de potasse, qu'il colore en jaune; de manière que ces cristaux jouissent des mêmes propriétés caractéristiques que l'acide à l'état de poudre. [1]

De l'acide hydro-chlorique.

M. Dalton a formé, d'après ses propres expériences, une table des différentes densités de l'acide hydro-chlorique, et cette table est d'une très-grande exactitude; mais le docteur Hure en ayant donné une plus complète, M. Thomson a considéré, comme plus convenable, de la présenter de préférence à l'autre dans sa nouvelle édition.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 223; Annales de chimie et de physique, tome IX, p. 187 et 329.

Table de la quantité d'acide hydro-chlorique sec correspondant aux pesanteurs spécifiques successives de l'acide liquide.

Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.	Pesanteur spécifique.	Acide dans 100.
1,1920	28,30	1,1272	18,68	1,0610	9,05
1,1900	28,02	1,1253	18,39	1,0590	8,77
1,1881	27,73	1,1233	18,11	1,0571	8,49
1,1863	27,45	1,1214	17,83	1,0552	1,21
1,1845	27,17	1,1194	13,55	1,0533	7,92
1,1827	26,88	1,1173	17,26	1,0514	7,64
1,1808	26,60	1,1155	16,98	1,0495	7,63
1,1790	26,32	1,1134	16,70	1,0477	7,07
1,1772	26:04	1,1115	16,41	1,0457	6,79
1,1753	25,75	1,1097	16,13	1,0438	6,51
1,1735	25,47	1,1077	15,85	1,0418	6,23
1,1715	25,19	1,1058	15,56	1,0399	5,94
1,1698	24,90	1,1037	15,28	1,0380	5,66
1,1679	24,62	1,1018	15,00	1,0361	5,38
1,1661	24,34	1,0999	14,72	1,0342	5,09
1,1642	24,05	1,0980	14,43	1,0324	4,81
1,1624	23,77	1,0960	14,15	1,0304	4,53
1,1605	23,49	1,0941	13,87	1,0285	4,24
1,1587	23,20	1,0922	13,58	1,0266	3,96
1,1568	22,92	1,0902	15,30	1,0247	3,68
1,1550	22,64	1,0883	13,02	1,0228	3,39
1,1531	22,36	1,0863	12,73	1,0209	3,11
1,1510	12,07	1,0844	12,45	1,0190	2,83
1,1491	21,79	1,0823	12,17	1,0171	2,55
1,1471	21,51	1,0803	11,88	1,0152	2,26
1,1452	21,22	1,0785	11,60	1,0133	1,98
1,1431	20,94	1,0765	11,32	1,0114	1,70
1,1510	20,66	1,0746	11,04	1,0095	1,41
1,1391	20.37	1,0727	10,75	1,0076	1,13
1,1371	20,09	1,0707	10,47	1,0056	0,85
1,1351	19,81	1,0688	10,19	1,0037	0,56
1,1332	19,53	1,0669	9,90	1,0019	0,28
1,1312	19,24	1,0649	9,62	1,0000	0,00
1,1293	18,96	1,0629	9,34		

Le docteur Hure a indiqué une méthode très-utile de la détermination approximative du poids de l'acide réel

dans 100 parties de l'acide d'une pesanteur spécifique quelconque. Ce moyen consiste à multiplier la partie décimale du nombre qui désigne la pesanteur spécifique par 148, le produit donne, à peu de chose près, le poids de l'acide réel. En supposant, par exemple, que la pesanteur spécifique de l'acide est 1,192, alors 0,192 × 148 = 28,416, nombre qui, ainsi qu'on peut le voir dans la table, se rapproche de très-près de la quantité d'acide réel dans un acide de cette pesanteur spécifique.

M. Dalton a formé la table qui suit du terme d'ébullition de l'acide hydro-chlorique de densités diverses.

Pesanteur spécifique.	Terme d'ébullition. Degrés centigrades.
1,166	77°
1,154	88
1,144	100
1,136	103
1,127	105,5
1,121	109,»
1,094	111,»
1,075	109,»
1,064	107,»
1,047	105,5
1,035	104,»
1,018	102,»
1,009	101,»[1]

Parmi les sels que l'acide hydro-chlorique est susceptible de former avec les différentes bases salifiables, M. Thomson place dans l'histoire de cet acide la formation des sels suivans, qu'il décrit ainsi, savoir :

Hydro-chlorate de lithine. Ce sel cristallise en cubes semblables à ceux du sel commun (hydro-chlorate de soude). Il est très-rapidement déliquescent à l'air. Le sel desséché ne se liquéfie point à une chaleur rouge; et cependant, lorsqu'il est chauffé au blanc dans un creu-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 246.

set de platine, il se fond. Dans son état naturel il entre en fusion à une très-basse température.

Hydro-chlorate de morphine. Ce sel cristallise en aiguilles, ordinairement disposées de manière à former des cristaux en barbes de plumes. Sa saveur est très-amère, et il se dissout dans dix fois et demie son poids d'eau froide.

Hydro-chlorate de strychnine. Il cristallise en aiguilles très-déliées, qui paraissent être des prismes quadrangulaires. Sa saveur est excessivement amère; exposé à l'air, il devient légèrement opaque. Lorsque ce sel est soumis à l'action d'une chaleur qui suffit pour le décomposer, il laisse dégager de l'acide hydro-chlorique. Il se compose, d'après l'analyse de MM. Pelletier et Caventou, de

Acide hydro-chlorique. . .	7,0723
Strychnine.	92,9277
	100,0000

Hydro-chlorate de brucine. Ce sel cristallise en prismes à 4 pans, terminés par des faces légèrement inclinées. Il est inaltérable à l'air, et très-soluble dans l'eau. Exposé à une chaleur suffisante, son acide hydro-chlorique est séparé, et le sel est décomposé. Ses parties constituantes sont :

Acide hydro-chlorique. . . .	5,9533
Brucine.	94,0467
	100,0000

Hydro-chlorate de picrotoxine. L'acide hydro-chlorique de la pesanteur spécifique de 1,145 a peu d'action sur la picrotoxine. Il la dissout cependant à l'aide de la chaleur; mais il ne s'en sature pas entièrement; 5 parties de cet acide étendu de trois fois son poids d'eau, dissolvent environ une partie de picrotoxine à la température de l'ébullition. La liqueur, en refroidissant, se convertit en une masse cristalline grisâtre, formée de cristaux confus. Ces cristaux, lorsqu'ils ont été lavés avec soin, sont presque insipides et élastiques sous la dent. Ils se dissolvent dans environ 400 fois leur poids

d'eau bouillante; mais ils se déposent en totalité par le refroidissement de la liqueur. Leur solubilité est de beaucoup augmentée par la présence d'un excès d'acide.

Hydro-chlorate de cadmium. Ce sel cristallise en petits prismes rectangulaires parfaitement transparens et très-solubles dans l'eau. Il perd, étant chauffé, son eau de cristallisation; et alors il se fond avant que la chaleur ait été entièrement portée au rouge. En refroidissant il se congèle en une masse cristalline lamelleuse, avec éclat nacré, se rapprochant de l'éclat métallique; mais cette masse perd par son exposition à l'air sa transparence et son éclat, et tombe à l'état d'une poudre blanche; à une forte chaleur le sel fondu se sublime en plaques micacées de la même transparence et avec le même éclat; et éprouvant, par leur exposition à l'air, la même altération. L'hydro-chlorate de cadmium fondu est formé de

Oxide de cadmium.	70,0247
Acide hydro-chlorique.	29,9753
	100,0000

de manière que 100 parties d'acide hydro-chlorique sont saturées par 233,6196 parties de cadmium, ou, si nous considérons ce composé comme un chlorure de cadmium, ses parties constituantes seront

Cadmium.	61,3877
Chlore.	38,6123
	100,0000 [1]

De l'acide fluo-borique.

MM. Gay-Lussac et Thenard, à qui est due la découverte de l'acide fluo-borique, annoncèrent, en présentant en 1811, dans leurs recherches physico-chimiques,

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, pag. 253 et 261; Annales de chimie et de physique, tome X, page 155; *Idem*, tome XI, pag. 76; *Idem*, tome XII, pag. 125, 126, 127 et 128; et Journal de pharmacie, vol. I, pag. 541.

les propriétés de cet acide nouveau, qu'il transformait facilement l'alcool en un véritable éther; et, depuis, le docteur Thomson avait dit que l'acide fluo-borique formait un éther lorsqu'on le distillait avec l'alcool. Mais il paraît qu'on n'avait point encore examiné quelle pouvait être la nature de cet éther. C'est pour parvenir à la déterminer qu'il a été entrepris en dernier lieu par M. Desfosses, pharmacien à Besançon, des recherches sur cette espèce d'éther. En faisant passer l'acide fluo-borique gazeux dans de l'alcool rectifié à 38 degrés; en distillant cet alcool; en débarrassant ensuite le produit de la quantité d'acide qu'il avait pu entraîner, par une nouvelle distillation, après l'avoir saturé par la potasse caustique; et enfin, en le rectifiant sur le chlorure de calcium, on obtient un éther fluo-borique ayant une odeur entièrement analogue à celle de l'éther sulfurique. Comme ce dernier éther, lorsqu'après l'avoir enflammé, on exposait un vase de porcelaine au-dessus de sa flamme, il se formait un léger dépôt charbonneux, et l'on n'apercevait aucune vapeur acide. Cet éther décomposé, en traversant un tube de verre chauffé au rouge, a fourni beaucoup d'hydrogène carboné; mais l'eau à travers laquelle le gaz avait été reçu, n'était nullement acide, ne troublant ni l'eau de chaux, ni l'acétate de plomb; et, par conséquent, il n'y restait aucune trace de l'acide fluo-borique. Pendant son éthérification il n'a point été obtenu d'huile douce du vin; et l'on s'assura que les gaz dégagés dans l'opération n'avaient été produits que par l'action de l'acide fluo-borique sur les élémens de l'alcool.

On peut conclure de ces nouveaux essais sur l'acide fluo-borique, 1° qu'on peut avec cet acide obtenir un éther analogue à l'éther sulfurique; 2° que cette éthérification, qui ne donne pas naissance à l'huile douce du vin, et dans laquelle l'acide ne semble pas altéré dans sa nature, a probablement lieu en raison de l'affinité de l'acide fluo-borique pour l'eau.[1]

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 72 et suiv.

De l'acide sulfo-chyazique, ou chyazique sulfuré. [1]

M. Von Grotthus, qui publia, en 1817 (*Annals of philosophy*, XIII, 39), une suite d'expériences faites par lui sur cet acide, proposa une nouvelle méthode pour le préparer, et chercha à le faire connaître comme un composé d'hydrogène uni à une base particulière à laquelle il donna le nom d'*anthrazothion*, et qu'il considérait comme étant un composé particulier de soufre, de carbone et d'azote.

Ce travail de M. Von Grotthus fut suivi, en 1818 (*Annals of philosophy.*, XIII, 101), de celui sur le même acide, de M. Vogel de Munich, qui, en rectifiant le procédé de M. Grotthus, fit voir, par des argumens très-satisfaisans, que les notions présentées par lui sur la constitution de cet acide, sont inexactes. M. Porett ayant répété, en 1819, ses premières expériences, annonça (*Annals of philosophy.*, XIII, 356) que l'acide sulfo-chyazique est un composé de 2 atomes soufre et 1 atome acide chyazique.

Pour se procurer l'acide sulfo-chyazique, d'après le procédé de M. Grotthus, rectifié par M. Vogel, on opère de la manière suivante : Après avoir réduit en poudre une certaine quantité de prussiate jaune de potasse, on mêle cette poudre avec son propre poids de fleur de soufre. Préparation.

---

[1] M. Gay-Lussac, à qui est due la découverte de la véritable constitution de l'acide prussique, donna le nom de cyanogène aux deux de ses élémens, le carbone et l'azote, qu'il reconnut former le radical de cet acide; et il proposa, en conséquence, le terme hydro-cyanique pour désigner l'acide, résultant de l'action sur ce radical, de l'hydrogène, troisième élément complétant la composition de l'acide prussique. Depuis, M. Porett s'étant occupé de recherches sur la nature des prussiates triples, et sur des acides particuliers que forme, suivant lui, l'union de certains corps avec les élémens de l'acide prussique, crut devoir changer la dénomination d'acide hydro-cyanique dans celle d'acide *chyazique*, mot formé des lettres initiales de ceux, carbone, azote, hydrogène, les trois élémens de l'acide prussique, et auquel il ajouta la terminaison en *ique*. Et les acides particuliers qu'il annonça être produits par l'acide chyazique avec le soufre, l'oxide de fer, etc., il les distingua par les noms d'*acides chyazique sulfuré, ferruré*, etc.; et il appela *sulfo-chyazates* ou *chyazates sulfurés*, *ferro-chyazates* ou *chyazates ferrurés*, les sels formés par la combinaison de ces acides particuliers, avec le soufre, l'oxide de fer, etc. R.

On expose le mélange dans un flacon, à une chaleur suffisante pour faire fondre le soufre, et on le maintient pendant plusieurs heures à l'état de fusion. Après l'avoir alors réduit en poudre, on met cette poudre en digestion dans une suffisante quantité d'eau, afin de lui enlever tout ce qui est soluble dans ce liquide. La liqueur étant ensuite filtrée, on y ajoute de la potasse en dose suffisante pour précipiter toute quantité de fer qu'elle peut retenir en dissolution. Dans cet état, la liqueur consiste en une dissolution de sulfo-chyazate de potasse dans l'eau. Si, après l'avoir mêlée avec de l'acide sulfurique, on distille, ce qui passe dans le récipient est l'acide sulfo-chyazique pur, avec une certaine quantité d'eau. M. Thomson annonce avoir répété plusieurs fois ce procédé, et trouvé qu'il réussit très-bien.

Propriétés. L'acide sulfo-chyazique, ainsi obtenu, entre en ébullition à la température de 102,5 degrés centigrades; et, à cette température, il est converti en vapeur, mais non en gaz. [1] Lorsqu'on introduit de cet acide dans un creuset de platine chauffé au rouge, il se dégage du soufre, qui finit par brûler avec une flamme bleue. M. Vogel ayant fait passer de l'acide sulfo chyazique à travers un tube de porcelaine rouge de feu, il obtint à l'extrémité la plus éloignée de ce tube, du soufre, de l'acide sulfo-chyazique non décomposé, et de l'acide chyazique en partie saturé d'ammoniaque. En remplissant le tube de tournures de fer, il se forme du sulfure de ce métal, et il y a dégagement d'acides chyazique et hydro-sulfurique. L'acide sulfo-chyazique cristallise, suivant M. Vogel (*Annals of philosophy*. XIII, p. 103), en prismes hexaèdres, à la température de 12,5 degrés centigrades.

Si l'on mêle l'acide sulfo-chyazique, avec une suffisante quantité de chlore, le soufre est converti en totalité en acide sulfurique, et il se dégage de l'acide chyazique. L'iode semble faire éprouver à l'acide sulfo-chyazique la même espèce de changement. (*Annals of philosophy*, XIII, p. 105.)

[1] Les autres propriétés de cet acide ont été décrites dans la précédente édition de M. Thomson, et sont exposées dans la traduction de cette édition, tom. II, page 326. R.

L'acide sulfo-chyazique, forme, avec le protoxide de cuivre, un composé blanc insoluble; c'est un proto-sulfo-chyazate de cuivre, composé, suivant l'analyse de M. Porett (*Annales of philosoph.* XIII, p. 359), de

Acide.	45	7,394
Protoxide de cuivre.	55	9,»
	100	

D'après cette analyse, le nombre équivalent, pour l'acide sulfo-chyazique, est 7,394.

Pour déterminer la composition de cet acide, M. Porett exposa un mélange de 4,8 parties de proto-sulfo-chyazate de cuivre, et 12 parties de peroxide de cuivre, à l'action d'une lampe à esprit-de-vin : il se dégagea 104 centimètres cubes de gaz, consistant dans

	centim. cubes.		parties.
Gaz acide carbonique.	57	ou	1,036
Gaz azote.	28		
Gaz acide sulfureux.	19	ou	0,050
	104		

Le résidu dans le tube se formait de

	parties.
Protoxide de cuivre.	7,56
Cuivre.	2,10
Sulfure de cuivre.	3,90
	13,56

Or, 4,8 parties de proto-sulfo-chyazate de cuivre consistant dans

Acide.	2,16
Base.	2,64
	4,80

La totalité de l'oxigène, contenue dans le peroxide

de cuivre, et dans le proto-sulfo-chyazate, était de

		parties.
Dans	12 parties de peroxide. . . .	2,400
Dans	2,64 de protoxide.	0,293
	Total. . . .	2,693

Dont il restait encore 0,84 parties unies au cuivre dans les 7,56 parties du protoxide de cuivre; de sorte, que le total de l'oxigène consommé dans l'expérience, s'élevait à 1,853 parties. Voyons combien il en existe dans l'acide carbonique et l'acide sulfureux produits. 1,604 parties d'acide carbonique contiennent $\frac{5}{11}$ de 1,604 = 1,168 d'oxigène. 0,779 parties d'acide sulfureux contiennent $\frac{1}{2}$ de 0,779 ou 0,389. Ces deux quantités réunies font 1,557 parties; mais la quantité consommée s'élevait à 1,853, d'où il suit, qu'outre les quantités d'oxigène existant dans l'acide carbonique et dans l'acide sulfureux, il en fut consommé 0,296 de partie. Cette quantité d'oxigène devait avoir donné lieu à formation d'eau; or, 0,296 partie de gaz oxigène représentent à peu près 12 centimètres cubes qui ont dû se combiner avec le double de son volume, ou 24 centimètres cubes d'hydrogène.

Ainsi, il paraît que le carbone, l'azote et l'hydrogène de l'acide sulfo-chyazique, en les supposant à l'état gazeux, seraient respectivement entre eux dans les proportions suivantes, savoir :

	centim. cubes.		
Carbone.	57	ou	2
Azote.	28		1
Hydrogène.	24		0,919

Les proportions sont donc à peu près les mêmes que dans l'acide chyazique; il y a seulement un peu de différence en moins dans la proportion de l'hydrogène; mais en considérant le moyen employé pour la déterminer, on ne sera pas surpris de cette différence, qui s'élève à peine à 8 pour cent.

Pour connaître actuellement la constitution de l'acide

sulfo-chyazique, il ne reste plus qu'à rechercher la quantité de soufre qui y est présent. La pesanteur spécifique du soufre, à l'état de vapeur, est la même que celle du gaz oxigène; et l'acide sulfureux contient un volume égal au sien de soufre en vapeur. Il est donc facile, d'après ces données, de déterminer le volume de soufre dans 2,16 parties d'acide sulfo-chyazique; car la quantité de soufre, dans 3,90 parties de sulfure de cuivre = 0,78 parties = 38 centimètres cubes de vapeur de soufre. Cette quantité ajoutée à celle de 19 centimètres cubes, volume de l'acide sulfureux, forme un total de 57 centimètres cubes. On voit ainsi que le volume de soufre, à l'état de vapeur, est le même que celui de carbone dans l'acide sulfo-chyazique; d'où il paraît résulter, que les parties constituantes de l'acide, sont :

2 volumes soufre.
2 volumes carbone.
1 volume azote.
1 volume hydrogène.

En substituant des atomes aux volumes, on a le poids et la constitution véritables de l'acide sulfo-chyazique; il est donc composé de

2 atomes soufre	=	4
2 atomes carbone	=	2,075
1 atome azote	=	1,175
1 atome hydrogène	=	0,125
		7,375 [1]

De l'acide ferro-chyazique, ou chyazique ferruré.

M. Porett a proposé un procédé ingénieux pour obtenir cet acide en cristaux. Ce procédé consiste à faire dissoudre 58 parties d'acide tartarique cristallisé dans de l'alcool, et à verser cette dissolution dans fiole contenant 50 parties de chyazate ferrugineux de potasse dissous dans la moindre quantité possible d'eau

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 302.

chaude, comme celle de 8 à 12 grammes. Par ce mélange des deux liqueurs, tout l'acide tartarique se combinant avec la potasse, la précipitera à l'état de bi-tartrate de cet alcali, et le liquide ne retiendra plus en dissolution que l'acide ferro-chyazique, qui, par évaporation spontanée, se sépare en petits cristaux colorés en jaune, se rapprochant généralement de la forme de cube. M. Thomson annonce avoir exécuté avec succès ce mode de préparation de l'acide ferro-chyazique. Les cristaux de cet acide sont promptement détruits lorsqu'on les laisse exposés à l'action de la lumière; ils se recouvrent d'une couche de bleu de Prusse, et perdent leur forme régulière. Le même changement eut lieu, lors même qu'ils furent placés à l'abri du contact de la lumière dans une presse en bois, qui, à la vérité, fut très-souvent ouverte.

L'analyse de l'acide ferro-chyazique présente une très-grande difficulté, qui résulte principalement de ce que le fer qu'il contient est très-aisément volatilisé. M. Porett crut devoir conclure d'une suite d'expériences, dont le détail se trouve exposé dans les Transactions philosophiques, pour 1816, que l'acide ferro-chyazique est un composé de 4 atomes acide chyazique, et 1 atome oxide de noir de fer. M. Thomson observe, qu'il publia, en 1818, ses expériences sur le ferro-chyazate, ou chyazate ferrugineux de potasse; et que, de leurs résultats, il tira, comme s'en déduisant, la conclusion, que l'acide ferro-chyazique était probablement un composé d'un atome d'acide chyazique et d'un demi-atome de fer; mais il avoua en même temps que cette hypothèse ne concordait pas exactement avec les produits par lui obtenus, les quantités de carbone et d'hydrogène étant trop grandes pour un seul atome d'acide chyazique. M. Porett fit bientôt après sur ce sujet un nouveau mémoire, dans lequel il chercha à faire voir que l'acide ferro-chyazique était un composé de 2 atomes acide chyazique + 1 atome azote, + 1 atome fer; mais la détermination de cette constitution ne peut s'accorder avec la quantité de fer dont l'analyse fait reconnaître la présence dans l'acide, et qui, d'après elle, ne s'élève qu'à un demi-atome. M. Porett publia encore, en oc-

tobre 1819, des expériences sur cet acide, dont les résultats lui font reconnaître que la proportion de fer que M. Thomson en avait séparée, n'était pas au-dessous de la véritable; et par conséquent il accorde que la quantité de fer dans l'acide ferro-chyazique ne s'élève qu'à un demi-atome. Il obtint, de l'analyse qu'il fit de 1 partie du ferro-chyazate de potasse, par le moyen du peroxide de cuivre, les substances suivantes, savoir:

	centim. cub.	parties.
Acide carbonique. . . .	29. . .	= 0,226 carb.
Gaz azote.	7. . .	= 0,133 azote.
Hydrogène.	3. . .	= 0,008 hydrog.
		0,367

Il y a, suivant M. Thomson, un excès de 0,06 de parties dans cette analyse de l'acide. Il annonce l'avoir répétée au moins 20 fois pour vérifier, s'il était possible, les résultats de M. Porett, mais sans pouvoir parvenir à être amené à des conclusions semblables à celles par lui établies. Il se trouva donc, ajoute-t-il, dans la nécessité de différer d'opinion avec ce chimiste habile, et de conclure, conformément à son premier mémoire, que l'acide ferro-chyazique est un composé de 1 atome acide chyazique et de $\frac{1}{2}$ atome de fer. Il est même porté à présumer, que l'opinion qu'il avait énoncée dans la précédente édition de cet ouvrage, savoir, que l'acide ferro-chyazique est un composé de cyanogène et de fer, sera à la fin confirmée. Et en effet, il a toujours obtenu dans ses expériences une quantité d'eau telle qu'elle indique la présence d'hydrogène dans l'acide; mais le docteur Prout, qui a répété l'analyse avec un appareil plus perfectionné que le sien, n'a pas obtenu une proportion d'eau plus grande que celle qu'on peut supposer exister dans le sel, à l'état d'eau de cristallisation. De plus amples recherches sont donc nécessaires avant que cette question puisse être considérée comme définitivement jugée. 5 parties de cristaux de ferro-chyazate de potasse, chauffés avec du peroxide de cuivre, fournissent 131 centimètres cubes de gaz; de ces 131 centimètres, il y en a 75 absorbés par la potasse, et qui sont,

table, ou les deux faces contiguës des pyramides tronquées, sont inclinées entre elles, sous un angle d'environ 135 degrés. La pesanteur spécifique de ces cristaux est de 1,833. Ils peuvent être facilement divisés en tables parallèles aux bases des pyramides; et ces tables sont susceptibles d'être pliées sans se rompre.

La saveur du ferro-chyazate de potasse est salée et fraîche, sans avoir rien de désagréable; elle est soluble dans l'eau distillée, à différentes températures, dans l'ordre suivant, savoir:

à 12° centig. 100 parties d'eau dissolvent	27,8 parties du sel.
à 38°	65,8
à 65°	87,6
à 93°	90,6

Ce sel est insoluble dans l'alcool et dans l'éther sulfurique. Exposé à la chaleur, il abandonne son humidité, et blanchit; mais il ne se fond pas, et les cristaux ne perdent leur forme que lorsque la chaleur approche du rouge; et même une longue exposition à une chaleur rouge ne détruit pas l'acide, quoique le sel soit alors devenu fortement alcalin.[1]

Perferro-chyazate de fer. M. Thomson, qui annonce avoir fait l'analyse de ce sel par le moyen de la potasse, le trouva formé de

Acide ferro-chyazique	51,0
Peroxide de fer	37,8
Eau	11,2
	100,0

D'où il suit évidemment, suivant lui, que le sel qu'il analysa, était un composé de 1 atome acide + 1 atome peroxide + 1 atome eau; mais il y avait un léger excès d'eau, probablement parce que le sel, réduit en poudre, soumis à l'analyse, n'avait pas été suffisamment desséché. Il est difficile d'obtenir sa dessiccation complète, à raison de ce que ce sel prend feu à une température entre 200 et 260° centigrades, et qu'alors il brûle très-vivement, mais sans flamme, il s'exhale en même

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 312.

temps beaucoup d'ammoniaque. En supposant le sel parfaitement sec, ses parties constituantes auraient indubitablement été

1 atome acide	= 6,75	52,42
1 atome peroxide	= 5,00	38,83
1 atome eau	= 1,125	8,75
	12,875	100,00

Lorsque le perferro-chyazate de fer est chauffé au rouge, il donne de l'acide chyazique, de l'ammoniaque et un gaz combustible particulier, composé de 3 volumes carbone, et 4 volumes hydrogène, condensés en un tiers de leur volume; sa pesanteur spécifique est 0,6743. 100 volumes de ce gaz exigent, pour leur combustion complète, 233,8 volumes d'oxigène; et il se forme 143,5 volumes de gaz acide carbonique. Le chyazate ferrugineux peut à peine être complétement décomposé par son exposition à une chaleur rouge, le résidu prend feu de lui-même à l'air, et donne en même temps une certaine quantité d'ammoniaque. [1]

D'après ces recherches de MM. Thomson et Porett, sur l'acide hydro-cyanique (chyazique), et sur les sels que forme cet acide par ses combinaisons avec les bases, M. Berzélius, considérant que ces recherches n'avaient pas éclairci davantage la matière, parce qu'elles n'ont pas été faites avec assez de soin pour que la nature des combinaisons les plus importantes de l'acide hydro-cyanique, les sels appelés *hydro-cyanates ferrugineux* (*ferro-chyazates*, ou *chyazates ferrugineux*), ait été parfaitement expliquée, il crut devoir en entreprendre de nouvelles sur la composition de ces sels, et il en a présenté l'exposé dans un écrit très-étendu, et des plus importans.

M. Berzélius fait observer d'abord que M. Porett, à qui l'on doit une foule d'observations importantes sur les hydro-cyanates, ou chyazates ferrugineux, a trouvé que ces sels peuvent se combiner avec le soufre en for-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 314; Phil. trans. 1814, page 536.

mant un acide particulier (acide sulfo-chyazique, ou chyazique sulfuré), dont l'existence et quelques-unes de ses propriétés étaient déjà connues, mais dont on ne soupçonnait pas en quoi cet acide diffère de l'acide chyazique. M. Berzélius ajoute, que M. Porett fut encore porté, par ses expériences, à la conclusion, que le fer qui entre dans la composition des chyazates ferrugineux, ne s'y trouve point à l'état d'oxide, mais bien sous forme métallique, uni avec le carbone, l'hydrogène et l'azote, qu'il est ainsi un des élémens de l'acide, où le fer joue un rôle analogue à celui du soufre dans l'acide sulfo-chyazique; et que, par conséquent, la notion adoptée relativement aux hydro-cyanates ferrugineux, d'après laquelle on les considérait comme des sels à deux bases, dont l'oxidule de fer est toujours l'une, était inexacte. M. Thomson adopta l'idée de M. Porett, sur la nature de l'acide chyazique ferrugineux; mais ayant fait, l'un et l'autre, l'examen de la composition du chyazate ferrugineux de potasse, ils ne se trouvèrent pas d'accord dans les résultats qu'ils avaient obtenus de leurs analyses de ce sel; et cette discordance, qui donna lieu à discussion, fut l'objet de plusieurs mémoires successivement publiés.

M. Berzélius parle aussi des nombreuses recherches de M. Vauquelin sur les prussiates (hydro-cyanates) et de la note de M. Robiquet sur la composition du bleu de Prusse, comme du dernier travail sur cette matière, dont il ait eu connaissance. Il termine l'énonciation de ces différens travaux en observant, que leurs résultats contradictoires, et des conjectures si peu justifiées par l'expérience, n'étant pas propres à donner une idée exacte de la composition des hydro-cyanates, il s'est occupé d'expériences, ayant pour but de se procurer des éclaircissemens sur ces objets; et il présente l'exposé des résultats qu'il en a obtenus, ainsi que des conclusions qu'il a cru pouvoir en tirer.

M. Berzélius a d'abord recherché quel pouvait être le rapport du fer à l'autre base, dans les hydro-cyanates (chyazates) ferrugineux; et ses expériences analytiques faites, par diverses méthodes, sur de l'hydro-cyanate (chyazate) ferrugineux de potasse, mis à l'état de pu-

reté, lui donnèrent, pour résultat moyen, la composition suivante, savoir :

Potasse.	44,62	contenant oxigène	7,58	2 ;
Protoxide de fer.	16,64	. . . . .	3,79	1 ;
Eau.	12,70	. . . . .	11,30	3 ;
Perte.	26,04			
	100,00			

Il en résulte que la potasse contient deux fois, et l'eau trois fois autant d'oxigène que le fer, sous forme de protoxide; la perte est à peu près égale au poids de 4 atomes d'acide hydro-cyanique (chyazique); mais la supposition que ce sel doit contenir ce même nombre d'atomes, est moins vraisemblable, parce que, dans ce cas, il faudrait que la base la plus faible, le protoxide de fer, contînt, relativement à sa capacité ordinaire de saturation, deux fois autant d'acide que la base la plus forte, la potasse.

Examinant ensuite l'hydro-cyanate (chyazate) ferrugineux de baryte, M. Berzélius trouva que ce sel consiste dans

Baryte.	51,273	contenant oxigène	5,38	2 ;
Protoxide de fer.	11,865	. . . . .	2,70	1 ;
Eau.	16,560	. . . . .	14,72	5 $\frac{1}{2}$
Perte.	20,302			
	100,000			

Cette composition offre donc le même rapport entre le protoxide de fer et la baryte, que dans le sel à base de potasse. D'un autre côté, elle présente, ainsi que le fait observer M. Berzélius, dans le rapport de l'eau aux bases, une exception remarquable à la règle ordinaire. Lorsqu'en effet, on compare le rapport de la capacité de saturation des bases à la quantité de la substance perdue dans l'analyse, on trouve, que dans le sel à base de baryte, la perte excède celle dans le sel à base de potasse, d'une quantité précisément égale à la quantité que l'eau a donnée en moins pour que son oxigène fût deux fois celui de la baryte, et six fois celui du protoxide de fer; et

cette eau se laisse retrouver quand on brûle ce sel avec de l'oxide de cuivre.

L'hydro-cyanate ferrugineux (chyazate ferrugineux) à base de chaux, préparé par M. Berzélius, de la même manière que celui à base de baryte, et également analysé par lui, donna pour résultats :

Chaux.	22,45 contenant oxigène.	6,20	2 ;
Protoxide de fer.	13,69.	3,12	1 ;
Eau.	39,61.	35,21	11
Perte.	23,85.		
	99,60		

On retrouve encore dans cette composition, ainsi que dans le sel à base de baryte, qu'une demi-proportion d'eau manque; c'est-à-dire, que le sel retient un atome d'eau; et, en comparant la perte en substances détruites par le feu, avec la capacité de saturation des bases, on reconnaît de même ici un surplus qui correspond à la quantité d'eau qui a disparu.

Dans l'analyse de l'hydro-cyanate ferrugineux, à base d'oxide de plomb, M. Berzélius ne put déterminer avec autant de précision qu'il l'aurait désiré la quantité d'eau que ce sel contient, parce que son point de desséchement parfait se rapproche trop de celui où il commence à s'effleurir. Cependant les résultats obtenus portent M. Berzélius à croire que dans ce sel, tout comme dans le sel à base de potasse, l'eau contient la même quantité d'oxigène que les deux bases ensemble. L'analyse de ce sel à base d'oxide de plomb, avait donné :

Oxide de plomb.	70,0 contenant oxigène. . .	5,09	2 ;
Protoxide de fer.	11,9	2,57	1 ;
Perte.	17,7		

On retrouve donc encore ici le même rapport entre le protoxide de fer et celui de plomb, ainsi qu'entre les bases et la matière détruite par la combustion, que dans l'hydro-cyanate (chyazate) ferrugineux de potasse.

M. Berzélius pense que les analyses de ces sels suffiront pour prouver que, dans quelque état qu'y soit le

fer, *il prend, en état de protoxide, la moitié autant d'oxigène, que le radical de l'autre base.*

M. Berzélius ne regardant point comme décisives les preuves sur lesquelles M. Porett a fondé son opinion, que le fer se trouve à l'état métallique dans l'acide hydro-cyanique ferrugineux (acide ferro-chyazique), et que ce métal fait partie constituante de cet acide, il chercha à vérifier cette idée par une expérience directe, et plusieurs autres diversement répétées; et il finit par en obtenir pour la composition de l'hydro-cyanate ferrugineux (ferro-chyazate) à base de potasse, et cristallisé, savoir :

Fer. . . .	12,85	=	Protoxide de fer. . . .	16,54
Potassium.	37,11	=	Potasse	44,68
Cyanogène.	37,22			
Eau. . . .	12,82			

M. Berzélius conclut de toutes ses expériences sur l'acide hydro-cyanique ferruginux, dont il croit inutile d'exposer les résultats, qu'elles prouvent que les sels appelés *prussiates*, ou *hydro-cyanates ferrugineux* (chyazates ferrugineux), sont en effet des cyanures composés d'un atome de cyanure de fer, et de 2 atomes de cyanure de l'autre métal.

Mais quelle est la nature de ces combinaisons, lorsqu'elles contiennent de l'eau? C'est ce que, selon M. Berzélius, il est plus difficile de déterminer. Dans les prussiates ferrugineux de potasse et de plomb, il y a exactement la quantité d'eau requise pour les transformer en hydro-cyanates; on peut donc les considérer comme des hydro-cyanates doubles. Mais les élémens sont-ils en effet combinés de cette manière, ou peut-on aussi les regarder comme des cyanures avec eau de cristallisation?

M. Berzélius mit des cristaux de prussiate ferrugineux de potasse dans le vide, avec de l'acide sulfurique; à la température de × 13 degrés centigrades, ces cristaux avaient perdu toute leur eau de combinaison; un morceau d'un cristal, introduit dans le vide du baromètre, le fit descendre à la température de + 15° centigrades, de 0^m, 005. Quoique M. Berzélius ne présente pas ce résultat comme étant bien exact, à raison de l'extrême

difficulté qu'il y a à faire monter un corps solide dans le mercure parfaitement exempt de tout air mécaniquement adhérent à sa surface ; néanmoins l'expérience prouve que l'eau de cristallisation, dans l'hydro-cyanate ferrugineux de potasse, est douée d'une certaine tension qui varie avec la température. Il paraît donc que le sel dont il s'agit contient de l'eau toute formée, et non pas de l'acide hydro-cyanique et des bases oxidées ; car il n'est pas bien probable que la base et l'acide puissent se décomposer et se recomposer à mesure que la tension de l'eau varie d'après la température et d'après la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère dont ils sont entourés. Dans ce cas, il faudra considérer l'hydro-cyanate ferrugineux de potasse cristallisé, comme un cyanure double et de potassium, combiné avec de l'eau de cristallisation, à la manière des sels, dont il possède, même dans son état d'efflorescence, tous les caractères extérieurs.[1]

COMPOSÉS COMBUSTIBLES.

De l'Alcool.

Sa conversion en éther sulfurique, par un procédé nouveau.

Lorsqu'on fait bouillir de l'acide sulfurique étendu sur du chromate de plomb ou de baryte en grand excès, l'acide chromique que l'on obtient n'est jamais pur ; il retient beaucoup d'acide sulfurique, lors même qu'on emploie dix fois plus de ce dernier acide qu'il n'en faut pour décomposer le chromate employé. C'est en examinant le liquide contenant les deux acides, que M. Gay-Lussac reconnut que l'alcool dissout très-facilement le composé d'acide chromique et d'acide sulfurique, composé qu'on peut obtenir immédiatement en mêlant ces acides dans un état convenable de concentration. L'action réciproque de ces acides, lorsqu'ils sont en présence et pour peu que l'alcool soit concentré, est extrê-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV, page 144.

Nota. Les acides *hydro-chlorique*, *fluoborique* et *ferro-cyanique* sont particulièrement classés par M. Thomson, savoir, le premier parmi les acides composés de chlore et d'un combustible; le second parmi les acides composés de fluor et d'un combustible; et les deux autres sont établis comme composés acides de cyanogène et de combustibles. R.

mement vive, et peut même être suivie d'explosion; l'acide chromique est ramené à l'état d'oxide vert, et le liquide prend une odeur éthérée annonçant qu'il s'est formé de l'éther. Et en effet on obtient du liquide éthéré, convenablement rectifié, de l'éther sulfurique et une huile blanche transparente et légère, que M. Gay-Lussac considère comme identique avec l'huile douce du vin; et les résultats ayant été les mêmes, en traitant du peroxide de manganèse par l'alcool et l'acide sulfurique, M. Gay-Lussac en a conclu que lorsqu'on traite l'alcool par l'acide chromique et l'acide sulfurique, ou par ce dernier et le peroxide de manganèse, il paraît éprouver la même altération que par l'acide sulfurique seul. De l'éther sulfurique et de l'huile douce du vin se forment par le moyen de l'oxigène de l'acide chromique, ou du peroxide de manganèse. L'acide sulfurique n'éprouve aucune altération, mais sa présence est nécessaire pour déterminer la décomposition de l'alcool et la désoxidation partielle de l'acide chromique, et de l'oxide de manganèse.

M. Gay-Lussac fait observer que Schéele avait déjà reconnu qu'en laissant ensemble, pendant quelques jours, du peroxide de manganèse, de l'acide sulfurique et de l'alcool, et en distillant ensuite doucement, l'alcool passe avec une forte odeur, se rapprochant beaucoup de celle de l'éther nitreux. M. Dobereiner a aussi remarqué une odeur semblable dans un mélange de chromate de potasse, d'acide sulfurique et d'alcool, et il paraît l'attribuer à un éther particulier produit par la réaction de l'acide chromique sur l'alcool [1].

De l'Ether sulfurique.

Composition.

Suivant M. Dalton, un volume d'éther exige, pour sa combustion, six volumes d'oxigène; le résidu consiste dans quatre volumes d'acide carbonique. Or, il est évident que quatre volumes de gaz oxigène doivent avoir été employés à la formation du gaz acide carbonique; et les deux volumes restans ayant donné lieu à production d'eau, ont dû s'unir à une quantité d'hydrogène qui, à l'état de gaz, s'éleverait à quatre volumes. Le gaz acide

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 102.

carbonique contient un volume égal au sien de carbone à l'état gazeux. Il suit donc de ces faits, qu'un volume de vapeur d'éther contient :

4 volumes carbone } condensés en 1 volume.
4 volumes hydrogène }

La pesanteur spécifique de la vapeur de carbone est 0,416, celle du gaz hydrogène 0,0694. Ainsi

4 volumes carbone pèsent. .	1,664
4 volumes hydrogène. . . .	0,277
Total.	1,941
Pesanteur spécifique de la vapeur d'éther. .	2,586
Restant.	0,645

Il paraît donc que le poids de la vapeur d'éther excède celui du carbone et de l'hydrogène, dont on y découvre la présence par l'analyse de 0,645, nombre qui représente presque exactement le quart du poids de la vapeur d'éther. Or, cette différence ne peut être attribuée qu'à l'eau. Il s'ensuit que le poids de la vapeur d'éther doit consister, pour les trois quarts, dans du carbone et de l'hydrogène, et l'autre quart, dans de la vapeur d'eau. Or, 4 volumes de carbone, et 4 volumes d'hydrogène, sont dans les proportions qui constituent le gaz oléfiant, et ils équivalent à 2 atomes de gaz oléfiant. Mais

2 atomes de gaz oléfiant pèsent. . .	3,5
1 atome d'eau pèse.	1,125
Total. . . . =	4,625

Or, 1,125 se rapproche de très-près du quart de 4,625; d'où il semble résulter d'après l'analyse de M. Dalton, que l'éther est composé de 2 atomes de gaz oléfiant, et de 1 atome de vapeur d'eau. Actuellement, la pesanteur spécifique de 2 atomes de gaz oléfiant est

= 0,9708 × 2 . . . . . = 1,9416
Tandis que celle de 1 volume de vapeur est = 0,6250

Total. . . . . = 2,5666.

Mais 2,5666 se rapproche de très-près de 2,586, le résultat numérique obtenu par M. Gay-Lussac. Il y a donc lieu de considérer ce qui vient d'être établi, relativement à la composition de l'éther sulfurique, comme présentant celle réelle de cet éther. Il consiste dans

2 volumes de gaz oléfiant } réduits à 1 volume.
1 volume vapeur d'eau }

Sa pesanteur spécifique est 2,5666, et il est composé de

5 atomes hydrogène. . . .	=	0,625
5 atomes carbone.	=	3,000
1 atome oxigène.	=	1,000
		4,625

De sorte que le poids d'une molécule intégrante de cet éther est 4,625.

M. Thomson annonce qu'il était parvenu à reconnaître cette composition de l'éther sulfurique long-temps avant que M. Dalton eût publié ses expériences et le résultat de son analyse de ce corps, résultat qui, suivant M. Thomson, est le seul véritable.[1]

Altération de l'acide sulfurique dans son action sur l'alcool.

M. Dabit de Nantes publia au mois de prairial an 8 (juin 1800), un Mémoire sur l'éther sulfurique, qui fut inséré dans les *Annales de chimie*, volume XXXIV, page 289. Dans ce Mémoire M. Dabit annonça que, dans l'action de l'acide sulfurique sur l'alcool, l'acide est réellement décomposé; qu'il cède une portion d'oxigène à l'alcool, sans cependant passer à l'état d'acide sulfureux, et qu'il forme un nouvel acide intermédiaire entre l'acide sulfureux et l'acide sulfurique. Une semblable opinion, contraire à celle précédemment énoncée par Fourcroy et M. Vauquelin, d'après laquelle l'acide sulfurique n'agit sur l'alcool que pour déterminer la formation de l'eau, en raison de sa grande affinité pour ce liquide, ne pouvait être légèrement admise, et sans que l'existence du nouvel acide fût bien prouvée. Aussi Fourcroy et M. Vau-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 344.

quelin s'empressèrent-ils d'objecter à M. Dabit, dans le même volume des *Annales de chimie*, page 318, que sa théorie fût-elle la véritable, était incomplétement démontrée. M. Dabit ne crut pas pouvoir mieux répondre à cette objection de Fourcroy et de M. Vauquelin, qu'il reconnut être fondée, qu'en publiant, deux années après dans le XLIIIe volume des *Annales de chimie*, p. 101, un second Mémoire faisant suite au premier, et dans lequel il expose la série d'expériences d'après lesquelles il a obtenu pendant la conversion de l'alcool en éther, par le moyen de l'acide sulfurique, l'acide particulier dont il avait annoncé quelques années auparavant l'existence; phénomène résultant, suivant lui, de ce que l'acide sulfurique peut perdre une portion de son oxigène sans passer pour cela à l'état d'acide sulfureux, et qu'une portion de l'acide sulfurique, qui est employée à la préparation de l'éther, est mise à cet état d'acide intermédiaire.

Ces expériences, quelque important qu'en fût l'objet, étaient cependant restées depuis 16 ans dans l'oubli, lorsque M. Sertuerner, qui paraît n'en avoir eu aucune connaissance, crut devoir en entreprendre sur le même sujet; et c'est dans le 60e vol. des *Annalen der physik*, page 54, qu'il en a publié en 1818 l'exposé. Suivant ce chimiste, l'acide sulfurique, en agissant sur l'alcool pour former l'éther, produit trois acides, qu'il désigne par des noms latins que représentent ceux, *prot-acide*, *deut-acide* et *trit-acide sulfo-vineux*. On obtient facilement ces acides, à l'état isolé, de leurs combinaisons avec la chaux ou la baryte. Chacun donne à la distillation un produit différent. C'est ainsi que ceux des trois sulfo-vinates de chaux sont trois nouveaux acides liquides, cristallisables, ressemblant de loin à l'acide succinique et à l'acide pyro-ligneux; du gaz sulfureux, de l'acide sulfurique, du sulfate de chaux et un gaz éthéré d'une odeur très-agréable.

Dans la vue de répéter les expériences de M. Sertuerner, présentées d'une manière assez vague et avec trop peu de détails, M. Vogel entreprit sur la décomposition mutuelle de l'acide sulfurique et de l'alcool, etc., des recherches dont il fit part à l'Académie des sciences

de Munich, le 9 octobre 1819, et qu'il a imprimées dans le *Journal de pharmacie*, VI, 1.

M. Vogel se procura facilement l'acide sulfovineux; mais il ne remarqua pas de différence entre cet acide extrait à diverses époques avant ou après le passage de l'éther, et par conséquent il n'adopte point, avec M. Sertuerner, trois modifications de cet acide. Après avoir établi les propriétés de l'acide sulfovineux formé par la combinaison de cet acide avec la chaux, la baryte, le plomb, la potasse, la soude, le cuivre et le fer, des sels, ou sulfovinates, dont il examina également les propriétés, M. Vogel compara l'acide sulfovineux avec l'acide hyposulfurique.

Ces deux acides se présentent à l'état d'un liquide incolore, très-acide, qui ne peut être concentré par l'ébullition sans se changer en acide sulfurique et en acide sulfureux.

Tous les deux peuvent être rendus plus denses, et au même degré, dans le vide de la machine pneumatique.

Tous les deux forment des sels solubles qui ont la plus grande ressemblance entre eux.

Tous les deux, ainsi que leurs sels, sont décomposés par l'acide nitrique aidé de la chaleur, et donnent de l'acide sulfurique et des sulfates.

La différence entre eux consiste en ce que l'acide sulfovineux et ses sels contiennent une huile volatile, qui s'échappe à une haute température et se décompose en partie; l'acide hyposulfurique, au contraire, est converti par la chaleur en acide sulfureux et en acide sulfurique sans donner d'huile, et les hyposulfates ne se charbonnent pas à la température rouge.

De cette comparaison, et du résultat de ses recherches, M. Vogel fut porté à conclure que l'acide sulfurique mêlé avec de l'alcool se décompose sans le secours de la chaleur; qu'il abandonne de l'oxigène, et donne naissance à un acide particulier, qui a les plus grands rapports avec l'acide hyposulfurique, dont il ne diffère que par une huile volatile avec laquelle il est combiné.

Dès que MM. les rédacteurs des *Annales de chimie*

et de physique eurent connaissance des expériences de M. Vogel, ils crurent devoir s'empresser de les répéter. Et considérant que l'analyse du sulfovinate de baryte n'avait pas encore été faite, M. Vogel s'étant borné à établir l'analogie qu'il y a entre l'acide sulfovineux et l'acide hyposulfurique, il leur parut intéressant de rechercher si la composition du premier de ces acides, abstraction faite de la matière végétale, était la même que celle du second, et de quelle manière la matière végétale influait sur la capacité de la saturation. Ils s'assurèrent par cette recherche, qu'en faisant abstraction de la matière végétale, l'acide sulfovineux paraît composé de la même manière que l'acide hyposulfurique, et que sa capacité de saturation n'est pas changée par la présence de cette matière végétale, qui semble y jouer le même rôle que l'eau de cristallisation.

Néanmoins la matière végétale donne, suivant ces chimistes, aux sulfovinates des caractères particuliers. Celui de baryte a une cristallisation différente de celle de l'hyposulfate, et il perd 45,07 par la calcination, tandis que l'hyposulfate ne perd que 29,9. Les autres sels formés par l'acide sulfovineux et l'acide hyposulfurique leur paraissent également différens, et mériter une attention particulière.

De tous ces faits et observations il résulte que la théorie de l'éthérification, telle qu'elle a été donnée par Fourcroy et M. Vauquelin, ne peut plus être admise; que l'action de l'acide sulfurique ne se borne point, ainsi qu'ils se l'étaient persuadés, à déterminer la formation d'eau; mais que cet acide cède réellement de l'oxigène à l'alcool, et le résultat de l'éthérification paraît être de l'éther, de l'acide hyposulfurique et une matière végétale de nature huileuse, qui a la plus grande analogie avec l'huile douce du vin. Il se forme, en effet, une quantité considérable d'acide hyposulfurique relativement à l'éther produit, et l'huile douce du vin ne se manifeste qu'en même temps que l'acide sulfureux; c'est-à-dire, qu'il est très-probable que ces deux corps sont le résultat de la décomposition de l'acide sulfovineux. L'alcool, pour se changer en éther, a seulement besoin d'abandonner de l'hydrogène et de l'oxigène dans la pro-

portion où ces deux corps entrent dans l'eau; mais puisque l'acide sulfurique lui cède réellement de l'oxigène, il devrait se déposer du carbone, et c'est dans l'huile douce du vin qu'on le retrouve.[1]

DES CORPS GRAS.

M. Théodore de Saussure ayant soumis à l'analyse de la graisse de porc, dans son état naturel et après avoir été saponifiée, obtint de ses analyses les résultats suivans, savoir :

	Graisse de porc.	Graisse de porc saponifiée.
Carbone.	78,843	75,747
Hydrogène. . . .	12,182	11,615
Oxigène.	8,502	12,325
Azote..	0,473	0,313
	100,000	100,000

Or, en convertissant ces proportions en volumes, on a

	volumes.	volumes.
Carbone.	621,4	604,8
Hydrogène..	575,4	548,6
Oxigène.	25,1	36,3
Azote.	1,7	1,0

Ces volumes se rapprochent de ceux

	volumes.	volumes.
Carbone.	25	25
Hydrogène.	23	22,5
Oxigène.	1	1,5

On peut substituer les atomes aux volumes en doublant simplement le nombre des volumes d'oxigène; et alors la composition de la graisse de porc sera

25 atomes carbone . .	= 18,750,	ou 12,5 atomes carbone. . .	= 9,3750
23 atomes hydrogène	= 2,875	11,5 atomes hydrogène	= 1,4375
2 atomes oxigène. . .	= 2,000	1,0 atome oxigène. . .	= 1,0000
	23,625		11,8125

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIII, page 62.

tandis que la graisse saponifiée contient un demi-atome d'hydrogène de moins et 1 atome d'oxigène de plus que la graisse de porc dans son état naturel. Quoique, très-probablement, ces évaluations ne nous donnent pas la véritable composition de la graisse de porc, cependant elles ont le mérite d'être des approximations.[1]

Dans un huitième mémoire de M. Chevreul sur les corps gras, ayant pour titre : *Recherches chimiques sur les corps gras, et particulièrement sur leurs combinaisons avec les alcalis*, mémoire dont le rapport a été récemment fait à l'Académie des sciences, qui y a donné son approbation, ce chimiste établit les résultats d'une série d'expériences sur les corps gras par suite de celles qu'il avait déjà entreprises, et exécutées depuis plusieurs années avec autant de persévérance que de succès dans son travail déjà si avantageusement connu, ayant pour objet l'examen de ces corps.

Le nouveau mémoire de M. Chevreul est divisé en deux parties :

Dans la première il décrit le procédé qu'il a suivi pour analyser les corps gras en les brûlant par le peroxide de cuivre.

Dans la seconde partie il soumet à l'analyse les graisses d'homme, de porc et de mouton, et il compare les élémens de leurs principes immédiats avec ceux des produits de la saponification.

Il résulte de ces recherches, 1° que les graisses d'homme et de porc contiennent à très-peu près la même proportion d'élémens ; que la graisse de mouton contient plus de carbone et d'hydrogène; et que, dans ces trois graisses, le carbone est à l'hydrogène, en volume, à peu près : : 10 : 18, ce qui approche des élémens de l'hydrogène percarburé; 2° que les stéraïnes contiennent moins d'oxigène et plus d'hydrogène et de carbone que les élaïnes ; et que le rapport du carbone à l'hydrogène dans les stéraïnes est de 10 à 18, tandis qu'il est un peu plus faible dans les élaïnes; 3° que la somme du poids de la graisse saponifiée du principe doux, qui est le résultat de la

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 380; Phil. trans. 1819, page 36.

saponification de différentes espèces de graisses, est plus grande que le poids de la graisse employée.

Des tableaux comparatifs de tous les produits et de leurs élémens, soit en poids, soit en volume, établissent ces conséquences; et M. Chevreul observe, que dans les graisses acidifiées l'hydrogène est au carbone dans le rapport des élémens de l'hydrogène percarburé.

Lorsqu'on chauffe doucement avec du massicot, les acides margarique et oléique, et conséquemment les graisses acidifiées qui sont formées de ces acides, il se dégage une quantité d'eau résultante, ainsi que M. Chevreul le fait voir, de la combinaison de l'hydrogène de ces acides avec l'oxigène du massicot, ou bien, comme il en adopte et appuie l'opinion, qui se dégage simplement par la combinaison du massicot avec les acides secs.

De l'examen que M. Chevreul a comparativement fait des acides margariques et oléiques d'homme, de mouton et de porc, il résulte, 1° que dans les trois acides margariques, le carbone est à l'hydrogène sensiblement dans le rapport de l'hydrogène percarburé; 2° que l'oxigène de l'acide margarique de mouton est à l'oxigène des acides margariques d'homme et de porc à très-peu près : : 1 : 1 $\frac{1}{2}$, rapport d'après lequel M. Chevreul propose de distinguer l'acide margarique de la graisse de mouton par le nom d'*acide margareux*; 3° que dans les acides oléiques d'homme et de porc, il y a plus d'oxigène que dans l'acide margarique, et que dans l'acide oléique du mouton il y en a plus que dans l'acide margareux.

M. Chevreul observe, comme un fait remarquable, que la composition de l'acide oléique consiste dans de l'hydrogène percarburé, plus de l'oxide de carbone; et il lui a semblé, ne considérant pas la différence comme assez marquée pour établir une distinction, que l'acide oléique de mouton contient moins d'oxigène oléique que les acides oléiques d'homme et de porc.

M. Chevreul comparant ensuite les principes des stéraïnes et des élaïnes avec ceux des acides margarique et oléique, il déduit, des rapports qu'il a trouvé exister entre ces principes et les acides qui en proviennent, les causes qui doivent opérer leur transmutation, et

donner lieu en même temps à la production du principe doux. Lorsque la potasse, ou toute autre base alcaline, agit sur les graisses examinées, la plus grande partie du carbone et de l'hydrogène, dans un rapport très-rapproché de celui des élémens de l'hydrogène percarburé, retient une portion d'oxigène pour constituer les acides margarique et oléique, tandis que le reste des élémens de la graisse, c'est-à-dire du carbone, de l'hydrogène, et une quantité d'oxigène qui paraît inférieure de moitié à celle qui serait nécessaire pour brûler cet hydrogène, forment le principe doux en fixant probablement une portion d'eau.

Enfin M. Chevreul s'est assuré, par l'analyse élémentaire de la cholesterine, que c'est à raison d'un excès de carbone qu'elle ne produit point d'acide margarique lorsqu'on la soumet à l'action des alcalis.

On retrouve donc présentés dans ce mémoire de M. Chevreul sur les corps gras les résultats des analyses de ces corps et des produits de leur saponification, qu'il avait exposés dans sept mémoires précédens. Il les compare; il déduit des proportions des principes élémentaires et de la nature des principes immédiats qui en résultent, la raison des propriétés physiques des corps gras, qui sont composés de ces principes immédiats, et celle des changemens que leur fait subir l'action des alcalis, ou de la résistance qu'ils lui opposent.[1]

BITUMES.

Du Naphte.

Lorsqu'on distille du pétrole à une chaleur modérée, le liquide, qui passe d'abord, se distingue des autres produits par le nom de *naphte;* il est incolore, d'une fluidité parfaite, très-volatil, et ayant une odeur particulière. Le goudron de houille, ou la matière huileuse qui passe, lorsqu'on distille de la houille à une chaleur rouge, fournit, par des rectifications successivement répétées,

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 197.

un liquide de la même espèce. On voit aussi, dans différens lieux, le naphte s'élevant spontanément presque à l'état de pureté du sein de la terre. C'est ainsi qu'il se rencontre, notamment, dans diverses parties de la Perse, à Amiano en Italie, et dans beaucoup d'autres endroits. La production naturelle du naphte se fait remarquer dans beaucoup de lieux où il n'a jamais été découvert de houille. Cependant M. Thomson pense que les propriétés du naphte naturel, et du naphte provenant de la houille, étant d'une similitude exacte, il peut être vraisemblable qu'ils aient réellement la même origine.

La pesanteur spécifique du naphte varie considérablement, et suivant toute probabilité, en raison de ce qu'il est plus ou moins pur. Ces différentes pesanteurs spécifiques, que M. Thomson annonce avoir lui-même reconnues, sont celles qui suivent, savoir :

1. Naphte de Perse, non rectifié. 0,753
2. Naphte de houille, parfaitement incolore, fabriqué à Edimbourg. 0,817
3. Naphte de houille, légèrement jaune, fabriqué à Glascow. 0,850
4. Naphte naturel d'Amiano, déterminé par Saussure. 0,836
5. *Idem*, rectifié trois fois. 0,758

Le naphte est très-volatil ; lorsqu'on en laisse tomber une goutte sur du papier, elle disparaît en peu de minutes. Cependant son terme d'ébullition est plus élevé que celui de l'huile de térébenthine. M. Thomson annonce s'être assuré que le naphte de Perse commence à bouillir dans un vaisseau de verre, à la température de 49 degrés centigrades, et qu'à mesure que l'ébullition continue, la température s'élève ; il porta celle du naphte de Perse dans une capsule d'argent, jusqu'à 178° centigrades. A la température de 22,5 degrés centigrades, la vapeur du naphte peut faire équilibre à une colonne de mercure de 45 millimètres de hauteur. M. Théodore de Saussure détermina la pesanteur spécifique de cette vapeur de naphte, en en pesant un mélange avec de l'air ordinaire, et il obtint pour cette pesanteur spécifique 2,833. M. Thomson ayant recherché, par le même moyen,

la pesanteur spécifique de la vapeur du naphte de Perse, à la température de 12,78 degrés centigrades, il la trouva être de 2,263. L'expérience de M. de Saussure avait eu lieu à la température de 22,5 degrés; ainsi donc, il est probable que la pesanteur spécifique de cette vapeur augmente dans un grand rapport avec la température. Lorsque la vapeur du naphte est à l'état de mélange avec de l'air ordinaire, il n'est pas facile de la remettre à l'état de séparation; elle peut passer à travers l'eau sans éprouver d'altération. L'alcool l'absorberait sans doute, et il s'en condenserait une très-grande proportion par le refroidissement de la température.

Le naphte brûle avec flamme d'un jaune intense, et en produisant beaucoup de fumée. Il est insoluble dans l'eau, quoiqu'il communique à ce liquide une odeur particulière. L'alcool en dissout les 0,20 environ de son poids. L'éther sulfurique, le pétrole, les huiles grasses, la poix, l'huile volatile, se combinent avec le naphte en toute proportion. Il dissout la cire à l'aide de la chaleur, et en laisse déposer une portion à mesure que la dissolution refroidit. Le caoutchouc se gonfle dans le naphte, de plus de trente fois son volume, et devient gélatineux et transparent, mais il s'y dissout à peine. Cependant, on peut, par ce moyen, mouler le caoutchouc en tubes d'une grande utilité pour les opérations de chimie.

Le naphte dissout, à l'aide de la chaleur, un peu de soufre et de phosphore, qu'il laisse se déposer ensuite à l'état de cristaux. Les alcalis fixes, non plus que les acides minéraux concentrés, n'exercent d'action marquée sur le naphte. On sait que la potasse anhydre forme, en se combinant avec le naphte, un savon brun; mais les alcalis hydratés ne contractent point d'union avec lui. Il absorbe environ deux fois son volume de gaz ammoniac.

Lorsqu'on fait passer du naphte à travers un tube de porcelaine rouge de feu, il est converti en charbon, en une huile empyreumatique brune, qui, sublimée à la température de 35° centigrades, fournit une portion de cristaux incolores en tables rhomboïdales avec un éclat semblable à celui du spermacéti, et en une certaine quantité de gaz hydrogène carboné. M. Théodore de Saus-

sure essaya d'analyser le naphte, en faisant détoner un mélange de sa vapeur et de gaz oxigène; et il reconnut, par cette expérience, que 1 volume de vapeur de naphte exige, pour sa combustion complète, 14 volumes de gaz oxigène, et qu'après la combustion il reste 8,2 volumes de gaz acide carbonique; d'où il suit que 5,8 volumes de gaz oxigène devaient avoir été employés à la formation d'eau; de sorte que l'hydrogène dans un volume de vapeur de naphte, s'y trouvant à l'état isolé, s'éleverait à 11,6 volumes. Il en résulterait, pour la composition du naphte,

8 atomes carbone.	=	6,0
12 atomes hydrogène.	=	1,5
		7,5

M. Théodore de Saussure conclut cependant lui-même de son analyse, que le naphte est un composé de

6 volumes vapeur de carbone } condensé en 1
5 volumes gaz hydrogène } volume.

Ou, ce qui revient au même, de

6 atomes carbone.	=	4,5
5 atomes hydrogène.	=	0,625
		5,125

avec environ 1 pour cent d'azote.

M. Thomson annonce avoir soumis à l'analyse du naphte de Perse dans un tube de cuivre avec du peroxide de ce métal. 1 partie de naphte, ainsi traitée, donna 106,5 centimètres cubes de gaz acide carbonique et 1,35 partie d'eau. Or, la quantité d'hydrogène dans 1,35 partie d'eau équivaut à 114,7 centimètres cubes, et le carbone dans 106,5 centimètres cubes d'acide carbonique, représente 106,5 centimètres cubes, donc le naphte est composé de

6,5 volumes carbone, ou 13 volumes.
7 volumes hydrogène, ou 14 volumes.

En substituant les atomes aux volumes, on aura pour la composition du naphte

13 atomes carbone.	=	9,75
14 atomes hydrogène.	=	1,75
		11,50

106,5 centimètres cubes de carbone pèsent	0,822
114,7 *idem* d'hydrogène pèsent.	0,148
	0,970

De sorte que, dans cette analyse, il y a un déficit de 3 pour cent, que M. Thomson est disposé à attribuer à la présence de l'azote, comme partie constituante du naphte dans cette proportion.[1]

COMPOSÉS SECONDAIRES.

Des Sels.

Dissolubilité des sels dans l'eau.

Dans l'exposé que M. Gay-Lussac a présenté de ses recherches sur la dissolubilité des sels dans l'eau, il commence par faire sentir toute l'importance de ce genre de connaissances, en observant que, comme opération chimique, la dissolution mérite de fixer particulièrement l'attention. Considérant ensuite que la solubilité d'un corps dans l'eau dépend de deux causes, de l'affinité et de la chaleur, il rappelle à ce sujet que c'est Lavoisier qui le premier ait expliqué d'une manière satisfaisante l'influence de la chaleur dans les dissolutions salines, en s'exprimant ainsi dans son *Traité élémentaire de chimie:*[2] « Si un sel très peu soluble par l'eau, l'est beaucoup par le calorique, ce sel sera très peu soluble à l'eau froide, et le sera beaucoup, au contraire, à l'eau chaude. Si un autre sel, au contraire, est, à la fois, peu soluble dans l'eau, et peu soluble dans le calorique, il sera peu soluble dans l'eau froide comme

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 394; *Annals of philosophy*, XII, XV, 212, 218, 301.

[2] 1re édition, tome II, page 423.

dans l'eau chaude, et la différence ne sera pas très-considérable.

» On voit donc qu'il y a une relation nécessaire entre ces trois choses; solubilité d'un sel dans l'eau froide, solubilité d'un même sel dans l'eau bouillante, degré auquel ce même sel se liquéfie par le calorique seul, et par le concours de l'eau; que la solubilité d'un sel, à chaud et à froid, est d'autant plus grande, qu'il est plus soluble par le calorique, ou, ce qui revient au même, qu'il est susceptible de se liquéfier à un degré plus inférieur de l'échelle du thermomètre. »

A la suite de ces observations générales sur la dissolubilité des sels, M. Gay-Lussac rend ainsi compte de son travail sur cette partie intéressante de la chimie.

On obtient une dissolution saline parfaitement saturée de deux manières; en faisant chauffer l'eau avec le sel, et la laissant refroidir jusqu'à la température pour laquelle on cherche la solubilité; ou bien en mettant dans de l'eau froide un grand excès de sel, et en élevant graduellement la température. Dans chaque cas, il faut maintenir constante la température finale pendant deux heures au moins, et remuer fréquemment la dissolution saline, pour être bien assuré de sa parfaite saturation. Par des expériences directes, que cite M. Gay-Lussac, il a reconnu que dans ces deux manières d'opérer, on obtient absolument le même résultat; et d'après d'autres expériences faites par les procédés que ce savant emploie ordinairement pour avoir des dissolutions salines, expériences dont les résultats ne lui ont offert que des différences, en général très-petites, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, il n'hésite point à admettre, comme un fait certain, que l'eau, pour une température déterminée, parvient au même degré de saturation, soit en laissant précipiter par le refroidissement l'excès du sel qu'elle tient en dissolution, soit en dissolvant immédiatement le même sel, pourvu que cette eau reste en contact avec lui pendant un temps suffisant. M. Gay-Lussac fait observer ici, de plus, que le volume des cristaux qui se forment dans une dissolution, ou qu'on y met, n'a pas une influence sensible sur le terme de la saturation. C'est une conséquence de l'affinité chimique,

qui ne s'exerce qu'à des distances infiniment petites.

Il arrive fréquemment que la dissolution d'un sel qui ne cristallise pas, et que, par cette raison, on regarde comme saturée, cède des molécules salines aux cristaux de même nature qu'on y plonge; et l'on en a conclu que les cristaux d'un sel appauvrissent sa dissolution en la faisant descendre au dessous de son vrai point de saturation. M. Gay-Lussac considère ce fait comme certain, et même comme très-général; mais il l'explique autrement qu'il ne l'a été. Il fait observer que, dans une dissolution saline de température invariable, la saturation étant le terme auquel le dissolvant, toujours en contact avec le sel, ne peut plus ni en prendre ni en abandonner aucune portion; il s'ensuit, que toute dissolution saline pouvant abandonner du sel sans que la température change, est nécessairement sursaturée.

On peut considérer, suivant M. Gay-Lussac, la sursaturation, qui n'est point un terme fixe, comme étant produite par la même cause que celle qui retient l'eau liquide au-dessous de la température de sa congélation.

Lorsqu'un liquide doit devenir solide, et même fluide élastique, le changement ne s'opère pas toujours à la température à laquelle il devrait réellement avoir lieu. L'eau, dont le point de congélation est à 0°, peut, dans des circonstances convenables, rester liquide à 10 ou 12 degrés au-dessous; et son ébullition qui, dans un vase de métal, a lieu à 100 degrés, est très-sensiblement retardée dans des vaisseaux de verre. Le même liquide peut aussi conserver en dissolution une plus grande quantité d'acide carbonique que ne le comporte la pression. Les effets de ce genre, qui sont très-nombreux, ne paraissent dépendre que de l'inertie des molécules; cette force, en général très-faible, cédant au plus léger effort, on n'est jamais sûr de parvenir au terme où l'intensité de ces effets serait à son *maximum*. On a bien observé que, dans quelques expériences, l'eau était restée liquide à 10 degrés au-dessous de la température de 0; mais rien n'indique qu'elle ne puisse conserver sa liquidité à un froid beaucoup plus considérable.

On peut, par des causes qui paraissent étrangères à l'affinité, prévenir ou détruire tous les effets résultant

de l'inertie des molécules, c'est-à-dire de leur résistance au changement d'état ou d'équilibre, à laquelle peuvent donner lieu la difficulté des changemens de position des molécules dans un milieu parfaitement homogène; la viscosité du dissolvant; la propriété conductrice du calorique, qui, en opposant de la résistance au dégagement ou à l'absorption du calorique, peut maintenir l'équilibre des molécules; enfin peut-être une influence électrique. Ainsi l'eau se congèle toujours à 0°, elle bout à peu près à 100 degrés dans des vases de verre; elle ne prend point un excès d'acide carbonique, ou elle l'abandonne quand on a soin de l'agiter. A la vérité un morceau de glace introduit dans de l'eau restée liquide au-dessous de 0°, détermine très-sûrement sa cristallisation, à cause de l'affinité réciproque des molécules aqueuses qui est plus grande à l'état solide qu'à l'état liquide; mais ce n'est qu'un moyen de plus de détruire l'inertie, et souvent des corps inertes, surtout quand ils ont des aspérités, produisent le même effet.

On peut obtenir des dissolutions salines sursaturées, en évaporant très-lentement une portion du dissolvant; mais il vaut encore mieux laisser refroidir, par degrés insensibles, les dissolutions saturées. Pour quelques sels, le refroidissement peut-être considérable avant que la cristallisation se détermine; mais, pour la plupart, ce refroidissement doit être très-faible; et la cause générale qui produit la sursaturation est évidemment la même pour chaque sel.

Une dissolution sursaturée d'un sel, du carbonate de soude, par exemple, cristallise comme l'eau restée liquide au-dessous de son point de congélation avec laquelle les dissolutions salines sursaturées ont les plus grands rapports, soit par l'agitation, soit par l'immersion d'un cristal du même sel ou d'un corps étranger. De même encore que pour l'eau, on ne peut assigner le terme auquel la sursaturation s'arrête; ce terme pouvant dépendre accidentellement, dans chaque expérience, de la nature du vase, de son poli, de sa propriété conductrice, de l'agitation de l'air. Or, puisqu'on détermine la cristallisation dans une dissolution saline sursaturée par la simple agitation, il faut que la sursaturation ne

dépende pas de l'affinité, mais bien d'une force purement mécanique; car le mouvement ne peut produire par lui-même des effets chimiques.

M. Gay-Lussac avait déjà fait voir par des expériences, qu'il regardait comme très-concluantes, que des dissolutions salines saturées, dont la température est constante, n'abandonnent pas de sel, et qu'elles restent homogènes dans toute leur étendue; cependant, pour mettre cette opinion à l'abri de toute objection, il a cru devoir faire les nouvelles expériences suivantes, dont le résultat a été précisément le même que celui des premières.

Ayant pris deux tubes de verre de deux mètres de longueur et de trois centimètres de diamètre, il introduisit dans l'un de ces tubes une dissolution de nitre, saturée à la température des caves de l'Observatoire de Paris, et dans l'autre une dissolution, également saturée de sel marin : deux autres tubes furent remplis avec des dissolutions semblables, dans lesquelles il n'y avait environ que quatre centièmes de chaque sel. Ces tubes, bien fermés, ayant été laissés pendant six mois dans les caves de l'Observatoire, dans une situation verticale, on a déterminé, au bout de ce temps, par l'évaporation, la quantité de sel contenue dans l'eau de la partie supérieure et de la partie inférieure de chaque tube, et les dissolutions ont été trouvées parfaitement homogènes.

M. Gay-Lussac ajoute que des cristaux de nitre suspendus au-dessous de la surface d'une dissolution saturée de ce sel, n'ont éprouvé aucune diminution sensible depuis plus de deux ans qu'ils sont placés à une température constante dans les caves de l'Observatoire.

M. Gay-Lussac termine ces observations générales sur la dissolubilité des sels, par l'exposé de ses expériences sur ce sujet. Il y procédait ainsi qu'il suit. Après avoir saturé l'eau d'un sel à une température donnée, ainsi qu'il a été indiqué plus haut, on prend un matras de la capacité de 150 à 200 grammes d'eau, et dont le col a de 15 à 18 centimètres de longueur; ce matras ayant été pesé vide, on le remplit au quart environ de la dissolution saline, et on le pèse de nouveau. Pour évaporer l'eau, on saisit le matras par son col avec des pinces, et on le tient sur un brasier ardent sous un angle d'en-

viron 45°, en ayant soin de le remuer continuellement et de donner au liquide un mouvement giratoire, afin de favoriser l'ébullition et de prévenir les soubresauts qui sont très-fréquens pour quelques sels, dès que, par l'évaporation, il commence à se déposer des cristaux. Lorsque la masse saline est desséchée, et qu'il ne s'en dégage plus de vapeur d'eau à une chaleur presque rouge, on souffle dans le matras avec un tube de verre adapté à l'extrémité d'un soufflet, afin d'en chasser la vapeur aqueuse qui remplit sa capacité; on laisse ensuite refroidir le matras, et on le pèse. On connaît alors la proportion de l'eau au sel qu'elle tenait en dissolution, et on l'exprime en représentant le poids de l'eau par 100.

C'est ainsi que M. Gay-Lussac rechercha la solubilité du chlorure de potassium, du chlorure de barium, du chlorure de sodium, du sulfate de potasse, du sulfate de magnésie, du sulfate de soude, du nitrate de baryte, du nitre, et du chlorate de potasse. Ce savant a construit, au moyen d'une planche, les résultats, qu'il obtint ainsi, dont chacun était la moyenne au moins de deux expériences, en prenant pour abscisses les degrés de température, et pour ordonnées les quantités de sel dissoutes par cent parties d'eau; il en résulte qu'ils ont pu être établis par une ligne droite, qu'on a assujetti à passer successivement par l'extrémité de chaque ordonnée, représentant la solubilité; et il indique le moyen de trouver facilement l'équation de la ligne de solubilité pour chaque sel essayé.

M. Gay-Lussac a considéré cette manière de tracer graphiquement ses résultats, comme offrant l'avantage de donner promptement et sans calcul, avec une précision au moins aussi grande que par une expression algébrique, la solubilité pour toutes les températures comprises entre celles auxquelles les expériences ont été faites. Il annonce cependant, qu'il se propose de donner, dans un second mémoire, la solubilité d'un plus grand nombre de sels, en la présentant sous forme de table, au moins de 5 en 5 degrés de température.

En attendant, M. Gay-Lussac conclut de ses résultats obtenus, qu'ils suffisent, quoique peu nombreux, pour faire voir que, si on ne peut se flatter de réduire la solu-

bilité des corps à des principes généraux, elle mérite au moins une attention particulière, précisément à raison des écarts qu'elle présente.[1]

DES SELS D'AMMONIAQUE.

Hyposulfite.

L'hyposulfite d'ammoniaque est toujours, suivant M. Herschell, le seul qui ait jusqu'à présent examiné ce sel, un composé de 2 atomes d'acide, avec 1 atome de base, de sorte que c'est un bin-hyposulfite. Ce sel ne cristallise pas aisément; mais lorsque sa dissolution est fortement concentrée, il se forme, par le refroidissement de la liqueur, en une masse confuse de très-petits cristaux aciculaires. Sa saveur, très-piquante, laisse une sensation d'amertume des plus désagréables. Exposé à l'action de la chaleur, l'hyposulfite d'ammoniaque brûle avec une flamme faible, et s'évapore en entier.

Séléniates d'ammoniaque.

L'ammoniaque se combine, suivant M. Berzélius, en trois proportions différentes avec l'acide sélénique, et forme ainsi le *séléniate*, le *biséléniate*, et le *quadriséléniate* d'ammoniaque.

Le *séléniate* s'obtient en ajoutant de l'acide sélénique à de l'ammoniaque caustique concentrée jusqu'à un léger excès d'acide. En abandonnant alors la liqueur dans un lieu frais, le sel se précipite en cristaux, en partie pluniformes, et en partie présentant des prismes tétraèdres. Ces cristaux sont déliquescens à l'air.

Le *biséléniate* se produit lorsqu'on dissout le séléniate neutre dans l'eau, et qu'on abandonne ensuite la dissolution à une évaporation spontanée. Une portion de l'ammoniaque s'exhale avec l'eau, et le biséléniate se dépose en cristaux aciculaires, qui ne s'altèrent point à l'air.

Le *quadriséléniate* s'obtient, soit en chauffant une dissolution de biséléniate, soit en ajoutant de l'acide sélénique au biséléniate. Ce sel ne cristallise point; et lorsqu'il a été évaporé à siccité, il attire promptement l'humidité de l'air.[2]

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XL, page 296.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 445; Edin. Phil. jour. I, 19; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 260.

DES SELS DE POTASSE.[1]

Hyposulfite.

L'*hyposulfite de potasse* s'obtient aisément, en exposant du sulfure hydrogéné de potasse à l'action de l'air, jusqu'à ce qu'il perde sa couleur jaune. Le liquide est

[1] Dans le tableau présenté dans les Annales de chimie, tome XL, page 284, des sels de potasse et autres matières contenues dans six espèces différentes de potasse, dont M. Vauquelin avait fait l'analyse, on voit que, pour la potasse des Vosges, la quantité de muriate de potasse est portée à 510; ce qui, sur 1152 de cette potasse soumise à l'essai, indiquerait une proportion de ce sel de plus de 44 pour 100. Comme j'avais fait sur les mêmes potasses des expériences d'analyse, dont les résultats ne différaient que peu de ceux de M. Vauquelin, ainsi que ce savant l'annonça à la suite de l'exposé de son travail, page 288, même volume XL, et que j'avais trouvé beaucoup moins de muriate de potasse dans la potasse des Vosges, je crus ne pouvoir attribuer qu'à quelque erreur dans la confection du tableau des résultats de M. Vauquelin, la quantité si considérable de muriate de potasse, que la potasse des Vosges était indiquée contenir. Je cherchais d'où pouvait provenir cette erreur, lorsque je reconnus que les résultats partiels de l'essai de la potasse des Vosges par M. Vauquelin, formaient, en les réunissant, un total de 1440, lorsqu'il n'avait opéré que sur une quantité, égale pour chaque potasse, de 1152. Il y avait donc, dans ce total, un excédant de 288 sur la quantité de cette espèce de potasse essayée. Ayant fait faire cette remarque à M. Vauquelin, il a reconnu, qu'en effet il y avait une erreur matérielle dans l'énoncé au tableau de ses résultats de l'analyse de la potasse des Vosges; et, quoiqu'il n'eût pas conservé les notes de ses opérations, il lui parut évident que les 288 d'excédant devaient être imputés en diminution sur les 510 indiqués comme muriate de potasse; car même avec cette rectification, qui réduisait la proportion de ce sel à un peu plus de 19 pour 100 au lieu de 44, cette proportion lui semblait encore bien élevée.

M. Thomson, en rapportant dans sa cinquième édition, et dans celle-ci, le tableau des analyses de M. Vauquelin, a bien rectifié l'erreur sur l'essai de la potasse des Vosges en rétablissant le total des résultats à son montant réel de 1440, mais sans rien changer aux résultats partiels.

M. Thenard, qui a également reconnu cette différence en plus de 288 sur l'ensemble des résultats de l'analyse de la potasse des Vosges par M. Vauquelin, a cru devoir la déduire sur la quantité portée au tableau comme acide carbonique et eau, quantité qu'il réduit en conséquence de 304 à 16; mais cette proportion diffère tellement de celles trouvées en acide carbonique et eau dans les 5 autres espèces de potasse, et dont la plus faible est de 119, qu'il paraît évident que cette déduction est mal appliquée.

Ainsi donc les résultats de l'analyse de la potasse des Vosges par M. Vauquelin doivent être rétablis comme suit :

Potasse réelle.	Sulfate de potasse.	Muriate de potasse.	Résidu insoluble.	Acide carbonique et eau.	Total.
444. . . .	148. . . .	222. . . .	34. . . .	304. . . .	1152.

R.

alors une dissolution d'hyposulfite de potasse. Lorsqu'il est suffisamment concentré, il se forme en une masse confuse de cristaux aciculaires. Il a une saveur qui, comme celle du nitrate de potasse, est suivie d'amertume, et il est très-déliquescent. Le sel en déliquium cristallise en fines aiguilles par un léger abaissement de température. Lorsque, par l'action d'une chaleur graduée, on l'a fait bouillir jusqu'à être réduit en une masse blanche, sèche, il prend feu, et brûle à la manière d'un morceau d'amadou, mais avec une flamme bleue, faible. Ce sel dissout avec une grande facilité le chlorure d'argent, lors même qu'il est très-étendu.

Hyposulfate de potasse.

L'*hypo-sulfate de potasse* cristallise en prismes cylindroïdes, terminés par une table perpendiculaire à leurs axes.

Séléniates de potasse.

Le *séléniate* de potasse s'unit avec l'acide sélénique en trois proportions différentes, formant ainsi le *séléniate neutre*, le *biséléniate* et le *quadriséléniate*.

Le *séléniate* est excessivement soluble dans l'eau. Lorsqu'il est convenablement concentré, sa surface se recouvre d'une pellicule cristalline. Evaporé à siccité, il attire l'humidité de l'atmosphère. A une chaleur rouge, il se fond et jaunit; mais, par le refroidissement, il reprend sa couleur blanche. L'alcool ne le dissout pas.

Le *biséléniate* de potasse cristallise avec difficulté; lorsque sa dissolution a été suffisamment concentrée, les cristaux sont plumiformes. Il est déliquescent à l'air et se dissout en petite proportion dans l'alcool. Par une longue exposition à l'action de la chaleur, la moitié de l'acide en est dégagé, et il est réduit à l'état de séléniate neutre.

Le *quadriséléniate* de potasse ne cristallise pas; et lorsqu'il est évaporé à siccité, il reprend promptement l'état de déliquescence en attirant l'humidité de l'air.[1]

DES SELS DE SOUDE.

Sesquicarbonate.

Quoique ce sel se rencontre natif en quantités consi-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 437 et 438; Herschell, Edin. Phil. jour. I, 19; *Annals of philosophy*, XIV, 335; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 257.

dérables dans l'Afrique, il n'avait point été distingué de la soude du commerce, jusqu'en 1802, époque où Klaproth en présenta la description dans le troisième volume de ses ouvrages. Ce sel, qui se trouve dans la province de Sukena, près du Fezan, est appelé *trona* par les naturels du pays. Il se présente cristallisé en masses striées inaltérables à l'air, et d'une telle dureté qu'on assure que les murailles de Cassar, fort, actuellement en ruines, ont été construites avec ce sel. On peut le former artificiellement en exposant le carbonate de soude ordinaire à une atmosphère de gaz acide carbonique. Dans cette situation, il ne dépose pas de cristaux, comme le bicarbonate de potasse; mais il forme une masse solide amorphe, ayant de la ressemblance avec le sel d'Afrique. M. Richard Phillips a examiné un sesquicarbonate de soude artificiel préparé par M. Philip Taylor; il était cristallisé en prismes rhomboïdaux, à angles de 60 et 120°, terminés par des pyramides quadrangulaires, les plans des pyramides remplaçant les angles solides du prisme.

Il ne s'altérait point à l'air, et sa dissolution aqueuse rougissait fortement le papier de curcuma. Ce sel est composé, d'après les analyses de MM. Klaproth et Phillips, de, savoir :

Acide. . . .	39	40,00
Base.	38	39,72
Eau.	23	20,28
	100	100,00

Si l'on suppose que c'est un composé de 3 atomes acide + 2 atomes base, + 4 atomes eau, ses parties constituantes seront,

Acide. . . .	8,25 ou. . .	39,76
Base.	8,00.	38,55
Eau.	4,50.	21,69
		100,00

Ces nombres se rapprochent d'assez près des analyses

pour démontrer que la composition du sel est comme ci-dessus.[1]

Sulfate de soude.

M. Gay-Lussac a reconnu que l'eau, à la température de 32°,73 centigrades, dissout, pour maximum, sur cent parties de ce liquide 50,65 parties du sel. La dissolubilité diminue un peu, à mesure que la température augmente; et 100 parties d'eau, au terme de l'ébullition, ne dissolvent plus que 42,65 parties du sel. La solubilité diminue dans un plus grand rapport encore par l'abaissement de la température; de manière, que 100 parties d'eau, au terme de la congélation, ne peuvent dissoudre que 5,02 parties du sulfate anhydre. La table qui suit présente les résultats des expériences de M. Gay-Lussac sur la dissolubilité du sulfate de soude, dans l'un et l'autre de ses états de sulfate anhydre et de sulfate cristallisé.

Sels solubles dans 100 d'eau

Température centigrade.	Anhydre.	Cristallisé.
00,00	5,02	12,17
11,67	10,12	26,38
13,30	11,74	31,33
17,91	16,73	48,28
25,05	28,11	99,48
28,76	37,35	161,53
30,75	43,05	215,77
31,84	47,37	270,22
32,73	50,65	322,12
38,88	50,04	312,11
40,15	48,78	291,44
45,04	47,81	276,91
50,40	46,82	262,35
59,79	45,42	»
70,61	44,35	»
84,82	42,35	»
103,17	42,65	»[2]

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 452; Beitrage, III, 83; *Quarterly journal*, VII, 296.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 459; *Annals of philosophy*, XV, 10; Annales de chimie et de physique, tome XI, page 312.

L'*hyposulfite de soude* peut s'obtenir précisément de la même manière que l'hyposulfite de potasse. Il cristallise par refroidissement lorsqu'il a été évaporé en consistance de sirop, en houppes soyeuses, qui s'étendent en rayons partant d'un centre à travers tout le liquide et le rendent solide. Hyposulfite.

Ce sel, exposé à l'air, est déliquescent; mais placé dans le vide avec l'acide sulfurique, il s'effleurit. Sa saveur est d'une amertume intense et nauséabonde. Chauffé, il éprouve d'abord la fusion aqueuse, se dessèche ensuite en une masse blanche, et finit par prendre feu en brûlant avec une vive déflagration accompagnée de flamme d'un jaune clair. L'hyposulfite de soude est insoluble dans l'alcool, qui le précipite de sa dissolution dans l'eau. Le chlorure d'argent s'y dissout presque aussi facilement que le sucre dans l'eau.

L'*hyposulfate de soude* n'a pas encore été décrit.

La soude, comme la plupart des bases, s'unit en trois proportions avec l'acide sélénique, et forme ainsi trois sels distincts. Séléniates de soude.

Le *séléniate de soude* est très-soluble dans l'eau, et sa saveur est celle du borax. Lorsqu'on l'évapore en consistance de sirop, il fournit de petits grains cristallins, mais on n'en peut obtenir par le refroidissement de la liqueur. Évaporé à siccité, il ne s'altère point à l'air; l'alcool ne le dissout pas.

Le *bisséléniate de soude* cristallise en aiguilles dans sa dissolution suffisamment concentrée. Il ne s'effleurit point à l'air; mais soumis à l'action de la chaleur, il perd d'abord son eau de cristallisation, et se fond ensuite en un liquide jaune. En refroidissant il devient blanc. Chauffé au rouge, la moitié de l'acide s'en dégage sous la forme d'une fumée blanche, et ce qui reste est un séléniate neutre.

Le *quadrisséléniate* de soude cristallise en aiguilles par évaporation spontanée.

D'après l'analyse de M. Berzélius, le séléniate de soude est composé de

Acide.	100
Soude.	55

Tandis que le biséléniate consiste dans

Acide.	100
Soude.	28,48

Si l'on suppose que le poids de 1 atome d'acide sélénique est de 7,125, et celui de 1 atome de soude de 4, alors la composition de ces sels sera, savoir :

	Séléniate.	Biséléniate.
Acide. . .	100	100
Soude. . .	56,14	28,07 [1]

Essai des sels de soude.

MM. Gay-Lussac et Welter, dans leurs observations sur l'essai des sels de soude du commerce, considèrent le procédé ordinaire suivant lequel on opère à cet égard, comme étant très-défectueux, puisqu'il ne fait pas connaître la quantité de sulfite que ces sels contiennent, et qu'il fait, au contraire, évaluer ce sel pour une quantité à peu près égale à la moitié de son poids de carbonate de soude.

Pour remédier à cet inconvénient, MM. Gay-Lussac et Welter proposent de mêler 10 grammes du sel de soude à essayer avec un peu de chlorate de potasse, et de chauffer le mélange dans une capsule de platine jusqu'au rouge obscur. Le sulfite se changera en sulfate neutre, et le chlorate en chlorure également neutre. En faisant alors l'essai par les procédés ordinaires, il ne présentera plus aucune incertitude; et la quantité d'acide sulfurique employée indiquera réellement le titre des sels de soude.

S'il n'existait dans les sels de soude, comme matières étrangères pouvant altérer leur titre, que de l'hyposulfite de soude, il ne faudrait pas les calciner avec du chlorate de potasse avant d'en faire l'essai. Car dès qu'une partie d'hyposulfite est décomposée par l'acide sulfurique, son acide devient libre, et agit sur la teinture de tournesol; d'ailleurs l'acide hyposulfureux renfermant 2 atomes de soufre, il saturerait 2 atomes de base au lieu d'un, si on le convertissait en acide sulfurique, et par conséquent le titre serait trop faible. [2]

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 461; Herschell, Edin. phil. jour. I, 19; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 258.

[2] Annales de chimie et de physique, tome XIII, pag. 212.

DES SELS DE LITHINE.

Les sels de lithine n'ont été, jusqu'à présent, que superficiellement examinés, parce qu'il est difficile de se procurer leur base en quantité suffisante.

1. Les sels de lithine sont tous, autant qu'on a pu le reconnaître, solubles dans l'eau; et, sous ce rapport, ils ressemblent aux sels de potasse et de soude; mais le carbonate de lithine est beaucoup moins soluble que les carbonates de potasse ou de soude. Propriétés générales.

2. Lorsqu'on ajoute du carbonate de potasse à la dissolution concentrée d'un sel de lithine, il se produit un précipité blanc; et ce précipité peut être redissous en étendant la dissolution d'une quantité d'eau suffisante.

3. Le muriate de platine n'occasione point de précipité dans la dissolution d'un sel de lithine.

4. Plusieurs des sels de lithine se fondent à une très-basse température.

5. Lorsque les sels de lithine sont chauffés au rouge dans un vaisseau de platine, ils agissent avec une très-grande énergie sur ce métal.

6. Le ferro-cyazate de potasse, non plus que l'infusion de noix de galle, ne précipitent point les sels de lithine.

Le *nitrate de lithine* est incolore, très-soluble dans l'eau, et cristallise en prismes tétraèdres à bases rhomboïdales. Il est d'une saveur âcre, et promptement déliquescent; il fond à un degré de chaleur très-médiocre, et se réduit en un liquide; l'alcool le dissout aisément. Nitrate.

On se procure le carbonate de lithine en précipitant la dissolution concentrée d'un sel de lithine au moyen du carbonate de potasse. C'est une poudre blanche ayant une forte saveur alcaline, se dissolvant dans environ 100 fois son poids d'eau froide, et plus soluble dans l'eau chaude. Ce carbonate, chauffé au rouge, se fond, et il prend, par le refroidissement, l'aspect de l'émail. Lorsqu'on le chauffe dans un creuset de platine, le métal est toujours fortement attaqué. Les carbonates des autres alcalis ont, au contraire, la propriété de restituer son éclat métallique au platine lorsqu'il a été terni. Le carbonate de lithine, après avoir éprouvé la Carbonate.

fusion, se dissout avec beaucoup de difficulté dans l'eau.

Ce carbonate est composé, d'après l'analyse de Gmelin, de

Acide carbonique. . . .	54,46 . . .	2,75
Lithine.	45,54 . . .	1,932
	100,00	

Les véritables nombres sont, sans doute,

Acide carbonique. . . .	55 . . .	2,75
Lithine.	45 . . .	2,25
	100	

ce qui se rapproche de très-près de l'analyse réelle.

Borate. L'acide borique se combine en deux proportions avec la lithine. Le borate neutre peut s'obtenir en faisant bouillir ensemble les dissolutions aqueuses d'acide borique et de carbonate de lithine. La combinaison a lieu très-lentement. Le borate de lithine est très-soluble dans l'eau; et cette dissolution étant suffisamment évaporée, il reste une matière gommeuse transparente, qui tombe en déliquium par son exposition à l'air.

Le *biborate de lithine* est susceptible de cristallisation, et il est beaucoup moins soluble que le borate, quoi qu'il le soit plus que l'acide borique.

Phosphate. Lorsqu'on introduit du phosphate d'ammoniaque dans une dissolution de sulfate de lithine, il se précipite une poudre blanche insoluble, et cette poudre est un *phosphate de lithine*. L'acide phosphorique n'occasione pas de précipité dans la dissolution de ce sel, non plus que lorsqu'on en verse dans une dissolution de carbonate de lithine; mais, si après avoir ajouté de l'acide phosphorique au carbonate, on applique la chaleur, il y a dégagement d'acide carbonique, et il se précipite du phosphate de lithine; en faisant dissoudre ce sel dans l'acide phosphorique, on obtient un biphosphate de lithine, qui peut cristalliser.

Sulfate. Le *sulfate de lithine* est en petits cristaux tétraèdres, dont les bases sont, suivant M. Vauquelin, des carrés.

Sa saveur est salée, sans aucune sensation de l'amertume qui distingue les sulfates de potasse et de soude. Ce sel exige pour se fondre une forte chaleur rouge; mais si l'on y mêle un peu de gypse, le sel devient fusible à une chaleur au-dessous du rouge. Les parties constituantes de ce sel sont, d'après les différentes analyses qui en ont été faites jusqu'à présent, savoir :

	ANALYSES DE MM.			D'après la théorie.
	ARVEDSON.	VAUQUELIN.	GMELIN.	
Acide.	68,41	69,2	68,15	68,966
Lithine. . . .	31,59	30,8	31,85	31,034
	100,00	100,0	100,00	100,000

Le *bisulfate de lithine* se dissout plus facilement dans l'eau que le sulfate. Il cristallise en tables hexaèdres. Lorsqu'on l'expose à une température très-élevée, il s'en dégage de l'acide sulfureux et du gaz oxigène, et il reste du sulfate de lithine.

Le *chromate de lithine* est jaune, et cristallise en parallélipipèdes à bases rhomboïdales. Chromate.

En faisant bouillir ensemble de l'acide tungstique et du carbonate de lithine avec une quantité suffisante d'eau, on obtient un *tungstate de lithine*, qui cristallise en gros prismes tétraèdres obliques à bases rhomboïdales. Sa saveur est acerbe; douceâtre d'abord, elle laisse dans la bouche une sensation styptique. Ce sel est assez soluble dans l'eau. Tungstate.

L'*acétate de lithine* se forme en faisant dissoudre, à l'aide de la chaleur, du carbonate de lithine dans l'acide acétique. Cette dissolution évaporée laisse une matière gommeuse, qui se réduit très-promptement par déliquescence, en une masse liquéfiée, où il se manifeste graduellement des tables cristallines. Acétate.

L'acide benzoïque décompose aisément le carbonate de lithine; et il se forme ainsi un *benzoate de lithine* facilement soluble dans l'eau, qui ne cristallise pas, Benzoate.

mais qui se présente en une masse blanche opaque, déliquescente à l'air. Chauffé au rouge, ce benzoate est converti en carbonate de lithine, dont la dissolution dans l'eau, laisse, étant évaporée, un charbon volumineux.

Oxalate. L'*oxalate de lithine* se produit, lorsqu'on sature par de l'oxide oxalique, le carbonate de lithine. Il cristallise avec difficulté, et se dissout aisément dans l'eau. Le *binoxalate de lithine* cristallise facilement, et il est très-soluble dans l'eau.

Tartrate. Le *tartrate de lithine*, qui se dissout avec facilité dans l'eau, ne cristallise pas; mais il forme une matière blanche opaque qui n'est pas déliquescente à l'air. Le *bitartrate*, au contraire, cristallise aisément, et il est moins soluble que le tartrate.

Tartrate de potasse et de lithine. Lorsqu'après avoir neutralisé l'excès d'acide dans le bitartrate de potasse en faisant bouillir ce sel avec du carbonate de lithine, on abandonne le liquide à une évaporation spontanée, on obtient de gros cristaux, consistant dans des prismes tétraèdres rectangulaires à base de rectangles. Les diagonales de ces rectangles sont marquées d'une manière distincte, et les quatre triangles ainsi produits, sont tracés parallèlement aux côtés du rectangle. Cet aspect remarquable est permanent, et peut établir, par conséquent, un bon caractère de la lithine. Le *tartrate de potasse et de lithine* se dissout aisément dans l'eau. Sa saveur est salée sans amertume, et il est à peine altérable à l'air.

Tartrate de soude et de lithine. Ce sel peut s'obtenir par un procédé semblable à celui qui produit le tartrate précédent. Il forme de longs prismes tétraèdres rectangulaires, terminés souvent par une face oblique. Le *tartrate de soude et de lithine* se dissout aisément dans l'eau; sa saveur est salée et faible, et il s'altère peu à l'air.

Saclactate. L'acide saclactique dissout aisément le carbonate de lithine; et cette dissolution, évaporée lentement, donne un *saclactate de lithine*, en petit cristaux qui s'effleurissent à l'air, et se dissolvent facilement dans l'eau.

Malate. L'acide malique dissout avec facilité le carbonate de lithine; mais la dissolution qui ne cristallise pas, ne fournit à l'évaporation qu'une masse sirupeuse qu'il est difficile de sécher.

La dissolution du carbonate de lithine par l'acide gallique, qui s'opère facilement, est d'un vert foncé, et laisse par l'évaporation une matière noire, qui ne fournit point de cristaux. Gallate.

Tels sont les sels de lithine qui ont été jusqu'à présent examinés par les chimistes. Leur composition se détermine aisément en les considérant comme des composés d'un atome d'acide et d'un atome de lithine, et en se rappelant que le poids d'un atome de lithine est 2,25.[1]

DES SELS DE MORPHINE.

. . . . . .

Ce genre de sels n'est connu que depuis peu de temps; et l'examen qui en a été fait est si peu satisfaisant qu'on ne connaît pas encore les propriétés qui le distinguent des trois genres suivans :

1. Tous les sels de morphine, autant qu'on a pu le reconnaître, sont solubles dans l'eau, et leur saveur est amère. Ils sont, pour la plupart, susceptibles de cristalliser. Propriétés générales.

2. Lorsqu'on ajoute de l'ammoniaque à la dissolution d'un sel de morphine, il se forme un précipité en flocons, qui ne tarde pas à prendre un aspect cristallin. Ce précipité rougit le papier de curcuma; sa saveur est amère, et pris à l'intérieur il produit les mêmes effets qu'une dose d'opium.

Le *nitrate de morphine* cristallise en aiguilles, qui se déposent en étoiles. Il a une saveur amère, et se dissout dans une fois et demie son poids d'eau froide. La composition de ce sel est, suivant l'analyse qui en a été faite par M. Choulant, de Nitrate.

Acide nitrique.	20
Morphine.	36
Eau.	44
	100

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 468; *Gilber's annalen* LXII, 409, 412 et LIX, 240, 413, 414, 415, 416 et 417; Annales de chimie et de physique, tome VII, page 287, et tome X, page 89.

mais ces proportions s'éloignent probablement beaucoup de celles véritables.

Carbonate. Ce sel, qui cristallise en prismes courts, est soluble dans quatre fois son poids d'eau. La morphine peut aussi, suivant M. Sertuerner, se combiner avec l'acide carbonique dans les proportions de 2 atomes morphine et 1 atome acide carbonique, et former ainsi un sous-bicarbonate qui est plus soluble dans l'eau que la morphine. Le *carbonate de morphine* consiste, d'après M. Choulant, dans

Acide.	28
Morphine.	22
Eau.	50
	100

nombres qui, sans doute, sont très-inexacts.

Sulfate. Le *sulfate de morphine* cristallise en prismes. Il est soluble dans deux fois son poids d'eau distillée. La table qui suit présente la composition de ce sel d'après les différentes analyses qui en ont été faites, savoir :

	ANALYSES DE MM.			D'après la théorie.
	CHOULANT.	ROBIQUET.	PELLETIER et CAVENTOU.	
Acide.	22	12,8	11,084	11,05
Morphine. . .	40	87,2	88,916	88,95
Eau.	38	»	»	»
	100	100,0	100,000	100,00

Acétate. L'*acétate de morphine* cristallise en prismes blancs. Sa saveur est amère, et il est soluble dans son propre poids d'eau froide.

Tartrate. Le *tartrate de morphine* cristallise en prismes. Il est soluble dans trois fois son poids d'eau froide.[1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 472; *Annals of philosophy*, XIII, 154, 155; Journal de pharmacie, V, 536.

DES SELS DE STRYCHNINE.

Ce genre de sels n'est pas mieux connu que le précédent. Il n'a encore été examiné jusqu'à présent qu'en partie par MM. Pelletier et Caventou, qui ont découvert la strychnine.

1. Tous les sels de strychnine sont solubles dans l'eau. Leur saveur est d'une amertume intense; et, pris à l'intérieur, leurs effets sont funestes, en produisant des secousses tétaniques.[1] Propriétés générales.

2. Lorsqu'après avoir mis de l'acide nitrique sur un sel de strychnine, on applique la chaleur, le sel prend une belle couleur rouge.

On prépare le *nitrate de strychnine* en chauffant de l'acide nitrique étendu à grande eau, avec une quantité de strychnine plus que suffisante pour le saturer. En évaporant ensuite la liqueur, elle fournit des cristaux en aiguilles nacrées, qui se groupent en étoiles. La saveur de ce nitrate est excessivement amère, et son action sur l'économie animale est encore plus violente que celle de la strychnine pure. Il se dissout en plus grande proportion dans l'eau chaude que dans l'eau froide. Chauffé, il jaunit, et par l'augmentation de la chaleur il brûle avec un très-grand éclat. Lorsqu'on verse sur ce sel de l'acide sulfurique concentré ou de l'acide hydrochlorique, il prend aussitôt une couleur rouge. Nitrate.

Le *carbonate de strychnine* s'obtient par le mélange d'un carbonate alcalin avec un sel de strychnine. Le sel se précipite en flocons blancs, et paraît être à l'état d'un sous-bicarbonate. Il n'est que peu soluble dans l'eau; mais il se dissout aisément dans le gaz acide carbonique. Carbonate.

Le *phosphate de strychnine* cristallise en prismes tétraèdres. Lorsqu'on essaie de le préparer en faisant dis- Phosphate.

[1] C'est à raison de cette propriété que M. Magendie observe qu'il eût préféré qu'on donnât à ce nouvel alcali le nom de *tétanine*; ce nom se serait trouvé en harmonie avec ceux de *morphine* et *émétine*, qui rappellent les caractères physiologiques de ces substances. (Annales de chimie et de physique, tome X, page 176.)

soudre de la strychnine dans l'acide phosphorique, la liqueur conserve encore la propriété de rougir les couleurs bleues végétales; mais le phosphate ne s'en sépare pas moins en cristaux.

Sulfate. Ce sel, lorsqu'il est parfaitement neutre, cristallise en cubes. Un léger excès d'acide détermine sa cristallisation en aiguilles déliées. La saveur du *sulfate de strychnine* est excessivement amère. Il se dissout dans dix fois son poids d'eau froide, et il est plus soluble dans l'eau chaude. Il est à peine altérable à l'air; chauffé à la température de 100° centigrades, il devient légèrement opaque, mais sans rien perdre de son poids. A une température plus élevée, il se fond et devient une matière sèche. Dans cet état, il a perdu trois pour cent de son poids; ce qui peut être considéré comme étant son eau de cristallisation. A une température encore plus élevée, il est décomposé et charbonné. La composition de ce sulfate consiste, suivant l'analyse de MM. Pelletier et Caventou, dans

Acide.	9,5
Strychnine.	90,5
	100,0

Autres sels. Les acides acétique, oxalique, et tartarique, forment, avec la strychnine, des sels neutres très-solubles dans l'eau, et plus ou moins susceptibles d'affecter des formes cristallines régulières. D'où il suit évidemment, que les sels de strychnine ne sont pas précipités par les acétates, les oxalates ou les tartrates. [1]

DES SELS DE BRUCINE.

Les caractères de ce genre de sels se rapprochent beaucoup de ceux de strychnine. Leur action sur l'économie animale n'est pas aussi violente, quoique de même nature. L'acide nitrique, chauffé sur ces sels, les colore

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 474; Annales de chimie et de physique, tome X, page 142; Journal de pharmacie, V, 154.

en rouge, mais la nuance diffère de celle que prennent les sels de strychnine, traités de la même manière.

Le *nitrate de brucine*, lorsqu'il est neutre, ne cristallise pas; mais, par l'évaporation, il prend un aspect de gomme. Le binitrate, au contraire, cristallise aisément en prismes tétraèdres, terminés par des sommets en biseau. Chauffé, ce sel devient rouge, ensuite il noircit et finit par brûler à la manière du nitrate de strychnine. Nitrate.

Le *phosphate de brucine* ne cristallise qu'autant qu'il y a excès d'acide. Il se forme très-promptement alors en tables rectangulaires avec bords en biseau. Ce sel est très-soluble dans l'eau; il s'effleurit légèrement à l'air; il se dissout en très-petite quantité dans l'alcool. Phosphate.

Le *sulfate de brucine* cristallise en aiguilles déliées, qui paraissent être des prismes tétraèdres, terminés par des pyramides. Ce sel a une saveur très-amère; il est très-soluble dans l'eau, et peu dans l'alcool. La brucine est précipitée par tous les alcalis et les terres alcalines, et aussi par la morphine et la strychnine; mais aucun autre acide, de ceux qui ont été essayés, que l'acide nitrique concentré, ne peut le décomposer; dans ce cas, la brucine est altérée dans sa nature, et la couleur rouge ordinaire se développe. La composition de ce sulfate est, d'après l'analyse de MM. Pelletier et Caventou, de Sulfate.

Acide.	8,84
Brucine.	91,16
	100,00

L'*acétate de brucine* est très-soluble dans l'eau, et ne paraît pas susceptible de cristalliser. L'*oxalate de brucine* cristallise en longues aiguilles, au moins lorsqu'il est avec excès d'acide.[1] Autres sels.

DES SELS DE PICROTOXINE.

Ce genre de sels est trop imparfaitement connu pour

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 475; Annales de chimie et de physique, tome XII, page 113; Journal de pharmacie, V, 154.

qu'il soit possible de lui assigner des caractères qui le fassent distinguer des autres genres de sels récemment découverts, et dont il se rapproche de si près.

Propriétés générales.

1. Les sels de picrotoxine sont tous solubles dans l'eau, et la dissolution est souvent colorée en jaune.

2. Tous ces sels ont une saveur amère.

3. Les alcalis ou les carbonates alcalins produisent, dans la dissolution de ces sels, un précipité blanc, qui est la picrotoxine.

Nitrate.

L'acide nitrique de la pesanteur spécifique de 1,38, étendu de deux fois son poids d'eau, dissout, à l'aide de la chaleur, le quart de son poids de picrotoxine. Cette dissolution, évaporée à moitié, devient visqueuse, et se prend, par le refroidissement, en une masse transparente qui ressemble à une dissolution de gomme arabique. Dans cet état, le *nitrate de picrotoxine* a une saveur acide et très-amère. Si on le dessèche encore davantage à une température qui n'excède pas 60° centigrades, il se boursoufle, devient opaque, et, à la fin, d'une blancheur parfaite, ce qui lui donne l'aspect de l'alun calciné. Si on le maintient dans cet état, à une température inférieure à celle de l'eau bouillante, en ajoutant un peu d'eau au besoin, tout l'excès d'acide s'exhale, et la saveur devient purement amère. En lavant ce sel dans de l'eau distillée, l'acide est séparé en totalité, et la picrotoxine isolée forme des lames d'un beau blanc.

Carbonate.

Lorsqu'on fait passer un courant de gaz acide carbonique dans de l'eau qui tient de la picrotoxine en suspension, une portion de cet acide est absorbée par l'alcali; car il fait ensuite effervescence avec les acides, mais il ne s'opère pas de dissolution.

Phosphate.

L'acide phosphorique, étendu de deux fois son poids d'eau, ne dissout que peu de picrotoxine à froid; à chaud, son action est énergique, et le phosphate de picrotoxine cristallise comme le sulfate de cette base, mais en cristaux plus petits. Ce phosphate, après même qu'il a été bien lavé, rougit les couleurs bleues végétales. Il se dissout dans 50 fois son poids d'eau bouillante, et cette dissolution devient presque solide en refroidissant. Les cristaux, sous la forme d'aiguilles,

retiennent un excès d'acide, et leur saveur est d'une amertume insupportable.

On obtient le *sulfate de picrotoxine* en faisant dissoudre de la picrotoxine dans de l'acide sulfurique étendu; car cet acide concentré charbonne la picrotoxine et la détruit. La dissolution cristallise par refroidissement. Ce sulfate se dissout dans 120 fois son poids d'eau bouillante. Le sel se précipite peu à peu de cette dissolution, en fines aiguilles soyeuses d'une grande beauté. Desséché, il est blanc et élastique sous la dent comme de l'alun de plume. Il est composé de Sulfate.

Acide sulfurique.	9,99	5
Picrotoxine.	90,01 . . .	45
	100,00	

La picrotoxine se dissout très-bien dans l'acide acétique, qui peut s'en charger presque à saturation, à la chaleur de l'eau bouillante. Par le refroidissement de cette dissolution, l'*acétate de picrotoxine* se précipite en aiguilles prismatiques bien déterminées. Cet acétate est soluble dans 50 fois son poids d'eau bouillante. Pendant que la dissolution refroidit, le sel s'y dépose en cristaux d'une grande beauté, légers, sans aucune odeur acide, et d'une amertume beaucoup moindre que la picrotoxine elle-même. Cet acétate est décomposé par l'acide nitrique qui en dégage l'acide acétique. L'acide sulfurique étendu n'a pas d'action sensible sur l'acétate de picrotoxine. Acétate.

L'acide oxalique est, après l'acide acétique, celui qui a la propriété de saturer le plus complétement la picrotoxine. *L'oxalate de picrotoxine* cristallise en tables triangulaires, dont la saveur est médiocrement amère. Cet oxalate se dissout dans 10 fois son poids d'eau bouillante; et par conséquent c'est le plus soluble de tous les sels de picrotoxine, jusqu'à présent examinés. Oxalate.

L'acide tartarique agit à peine à froid sur la picrotoxine; mais, à l'aide de la chaleur, il dissout cet alcali; et par le refroidissement, le *tartrate de picrotoxine* se sépare par degrés de cette dissolution en aiguilles triangulaires. Ce sel a une saveur très-amère; il est soluble Tartrate.

dans 20 fois son poids d'eau bouillante, et dans 160 fois son poids de ce liquide froid. Sa dissolution aqueuse, quoique très-étendue, est précipitée par l'eau de chaux.[1]

DES SELS DE DELPHINE.

Ce genre de sels est encore plus incomplétement connu que le précédent. Tous ceux qui y appartiennent ont une saveur amère et semblent peu disposés à prendre la forme de cristaux.

Nitrate. Ce sel, lorsqu'on le prépare en faisant dissoudre de la delphine dans de l'acide nitrique faible, est incolore; mais en concentrant la dissolution, elle prend une couleur jaune. Ce *nitrate de delphine*, traité avec un excès d'acide, se transforme en une matière jaune, peu soluble dans l'eau. L'alcool bouillant dissout avec difficulté cette matière, et une addition de potasse, d'ammoniaque, ou d'eau de chaux, à sa dissolution, n'y occasione pas de précipité; elle ne paraît pas avoir retenu d'acide nitrique, et cependant elle ne jouit pas des propriétés alcalines. Cette matière jaune n'éprouve point de changement par de nouvelles doses d'acide nitrique, et elle ne peut être convertie en acide oxalique.

Sulfate. Le *sulfate de delphine* ne cristallise pas, mais abandonné à l'évaporation spontanée, il se dessèche en une masse transparente qui ressemble à la gomme. Ce sel se dissout aisément dans l'eau et dans l'alcool, et la dissolution a une saveur amère et âcre, dont la sensation reste dans la bouche pendant plusieurs heures. Lorsqu'on soumet une dissolution concentrée de sulfate de delphine à l'action d'une pile galvanique, le sel est décomposé, l'acide sulfurique s'est porté au pôle positif, et la delphine s'est déposée en flocons blancs au pôle négatif.

Acétate. L'*acétate de delphine*, lorsqu'il est à l'excès neutre, ne cristallise pas; mais il se dessèche en une masse transparente, dure, d'une saveur très-amère et âcre. Ce sel

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 476; Annales de chimie LXXX, page 209; Journal de pharmacie, V, 10.

est facilement décomposé, comme les autres acétates, par l'acide sulfurique concentré.

L'*oxalate de delphine* se présente sous la forme de feuillets blancs, et sa saveur est la même que celle des autres sels de delphine. [1] Oxalate.

DES SELS DE CHAUX.

Lorsqu'on expose à l'air une dissolution de sulfure de chaux, elle perd en peu de jours sa couleur, et il se précipite du soufre et du carbonate de chaux, précipité qu'on en sépare aisément par le filtre. En évaporant ensuite la liqueur, elle fournit des cristaux en prismes, qui ont quelque ressemblance avec ceux de muriate de chaux. Ces cristaux peuvent être tenus à l'air sans y éprouver d'altération. Ils sont solubles dans l'eau, et consistent dans de *l'hyposulfite de chaux*. Hyposulfite.

M. Herschell a trouvé que ce sel peut s'obtenir en quantité considérable, en faisant passer un courant de gaz acide sulfureux à travers le liquide, résultant d'un mélange de fleurs de soufre et de chaux vive qu'on a fait bouillir dans une quantité d'eau suffisante. La liqueur, évaporée à une température qui n'excède pas 55° centigrades, donne, par le refroidissement, de grands et beaux cristaux, qui, le plus ordinairement, affectent la forme de prismes hexaèdres irréguliers, jouissant d'une double réfraction. L'eau, à la température d'environ 3° centigrades, dissout près de son poids de ce sel, et la température s'abaisse à environ un demi-degré centigrade au-dessous de zéro; la pesanteur spécifique d'une dissolution saturée à 10 degrés centigrades est 1,300; et lorsque cette densité de la dissolution est de 1,114371 à 15°,5 centigrades, elle contient les 0,2081 de son poids du sel. Ces cristaux ne s'altèrent point à l'air. Ils sont insolubles dans l'alcool de 0,82344 de pesanteur spécifique. L'hyposulfite de chaux est composé, suivant l'analyse qui en a été faite par M. Herschell, de 1 atome chaux + 2 atomes acide hyposulfureux + 6 atomes eau. C'est

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 478; Annales de chimie et de physique, tome XII, page 358.

donc un binhyposulfite, ayant pour parties constituantes, savoir :

Acide hyposulfureux	36,641	ou 6
Chaux.	22,137	3,625
Eau.	41,222	6,75
	100,000	

Hyposulfate. L'*hyposulfate de chaux* cristallise en lames hexaèdres régulières, ordinairement groupées en roses.

Séléniates. Le *séléniate de chaux* neutre ne se dissout que très-imparfaitement dans l'eau. Il se précipite peu à peu à mesure qu'on fait dissoudre du carbonate de chaux dans de l'acide sélénique liquide. Séché, il est sous la forme d'une poudre cristalline, douce au toucher, ressemblant beaucoup au carbonate de chaux. Chauffé au rouge, il se fond; et si sa fusion est opérée dans un vaisseau de verre, il corrode ce vaisseau et finit par passer à travers.

On obtient un *biséléniate de chaux* en faisant dissoudre le séléniate dans de l'acide sélénique. Il cristallise en petits prismes, qui ne s'altèrent point à l'air. L'ammoniaque caustique enlève à ce biséléniate la moitié de son acide et le convertit en séléniate neutre. La chaleur produit le même effet [1].

DES SELS DE BARYTE.

Hyposulfite. Lorsqu'on ajoute du muriate de baryte à une dissolution concentrée d'hyposulfite de chaux, l'*hyposulfite de baryte* se dépose dans la liqueur sous la forme d'une poudre en écailles blanches brillantes. Ce sel est très-peu soluble dans l'eau. Lorsque la dissolution d'hyposulfite de chaux dans laquelle on introduit du muriate de baryte est étendue, il ne se manifeste pas d'abord de précipité; mais il se dépose peu à peu de petits grains cristallins, qui sont promptement suivis, en agitant brus-

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 487; Edin. Phil. four. I, 44; *Annals of philosophy*, XIV, 355; Annales de chimie, LXXXV, 200; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 265.

quement la liqueur, d'une séparation abondante d'hyposulfite de baryte. M. Herschell, à qui nous sommes redevables de tout ce qui concerne ce sel, le considère comme étant un binhyposulfite dont, par conséquent, la composition doit être,

Acide.	6
Baryte.	9,75
	15,75

L'*Hyposulfate de baryte* est un sel soluble cristallisable, mais dont les propriétés n'ont pas été décrites. Hyposulfate.

Le *séléniate neutre de baryte* est une poudre blanche insoluble dans l'eau, inaltérable, même par l'action de la chaleur à laquelle le verre se fond. Il se dissout dans les acides minéraux concentrés. Séléniate.

En faisant dissoudre du carbonate de baryte dans de l'acide sélénique, jusqu'à ce que toute effervescence ait cessé, on obtient un *biséléniate de baryte* cristallisé en grains ronds transparens. Ce sel est soluble dans l'eau. Le séléniate de baryte neutre est composé, suivant M. Berzélius, de

Acide sélénique.	100
Baryte.	137,7

Et le biséléniate, de

Acide sélénique.	100
Baryte.	68 [1]

DES SELS DE STRONTIANE.

L'*Hyprosulfate de strontiane* cristallise en petites lames hexaèdres dont les bords sont alternativement inclinés en sens contraire, semblables à ceux qui se formeraient dans un octaèdre par des sections parallèles à deux de ses faces opposées. Hyposulfate.

Le *séléniate de strontiane* neutre est sous la forme d'une poudre blanche insoluble. Le *biséléniate* s'obtient Séléniate.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 501; Edin. Phil. jour. I, 20; *Annals of philosophy*, XIV, 355; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 261.

en faisant dissoudre du carbonate de strontiane dans de l'acide sélénique liquide. Par une évaporation ménagée, le sel dépose, à l'état d'une croûte blanche, qui se dissout très-difficilement dans l'eau, même à la température de l'ébullition. Chauffé, le bisélé-niate de strontiane se fond, abandonne son eau de cristallisation, se boursoufle et forme une masse poreuse, de laquelle la chaleur sépare peu à peu l'excès d'acide. Le séléniate neutre qui reste ne se liquéfie point par la chaleur [1].

DES SELS DE MAGNÉSIE.

Sulfate.

Le docteur Wollaston avait fixé, d'après les expériences du docteur Henry, le nombre équivalent, ou le poids de l'atome de la magnésie, à 24,6, et la quantité d'eau contenue dans le sulfate de magnésie cristallisé, à 51,527 pour cent, ou à 7 atomes. Depuis, M. Berzélius avait annoncé que le sulfate de magnésie ne renfermait que 42,54 pour cent d'eau, et que le nombre équivalent pour la magnésie était 25,836. Enfin, d'après une analyse plus récente encore du sulfate de magnésie, par M. Longchamp, ce sel est composé de

Eau.	53,000
Magnésie.	13,249
Acide sulfurique. . . .	33,751
	100,000

D'où il suit que le nombre équivalent pour la magnésie serait de 19,718.

M. Longchamp a trouvé de plus que la magnésie, précipitée par la potasse, retient plus de 20 pour 100 d'eau, après avoir été calcinée au blanc; et qu'on doit, par conséquent, la considérer comme un hydrate.

Cette discordance dans les résultats des analyses du sulfate de magnésie ne pouvant que diminuer beaucoup la confiance qu'on doit leur accorder, M. Gay-Lussac a

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 512; *Annals of philosophy*, XIV, 355; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 265.

considéré comme un objet important de soumettre le sulfate de magnésie à une nouvelle analyse.

Après avoir d'abord calciné au rouge cerise du sulfate de magnésie, il a eu, pour résultat moyen de trois expériences, une perte en eau de 51,430 pour 100; ce qui donnerait pour la composition du sulfate de magnésie :

Sulfate anhydre.	48,57
Eau.	51,43
	100,00

M. Gay-Lussac fait observer, que pendant la calcination au rouge cerise du sulfate de magnésie, il y a toujours une petite quantité de ce sulfate de décomposé, ce qui donne naissance à des flocons de magnésie qu'on aperçoit dans la dissolution du sulfate après qu'il a été calciné. En négligeant cette petite quantité de magnésie, dont la capacité de saturation est grande, on commettrait une erreur sensible; ce qu'on doit avoir soin d'éviter, en évaluant, ainsi que M. Gay-Lussac l'a fait dans ses expériences, dont les résultats sont présentés ci-dessus, la quantité d'acide sulfurique nécessaire à la saturation de la quantité de sulfate de magnésie décomposé.

M. Gay-Lussac procédant ensuite à l'analyse du sulfate de magnésie cristallisé, et prenant le résultat moyen de deux opérations faites sur des quantités différentes, il trouva, pour le nombre équivalent de la magnésie, 24,7129; d'où il suit que le nombre équivalent du sulfate de magnésie anhydre est de 74,8294; et le sulfate cristallisé qui contient évidemment 7 proportions d'eau, calculées sur le nombre équivalent de ce liquide de 11,3265, serait composé de

Sulfate.	74,8294
Eau.	79,2360

En cherchant alors à évaluer directement la magnésie, au moyen de la décomposition de son sulfate par la potasse, le nombre équivalent de la magnésie, dérivant du résultat obtenu, fut de 24,374.

Il résulte de ces recherches de M. Gay-Lussac sur le

sulfate de magnésie, 1° que la magnésie, calcinée au blanc, n'est pas un hydrate, ainsi que M. Longchamp l'avait annoncé; 2° que le nombre 24,60, terme moyen des trois nombres proportionnels pour la magnésie, obtenus, se trouve être précisément celui donné par M. Wollaston, d'après les expériences du docteur Henry.[1]

Hyposulfite. On se procure aisément l'hyposulfite de magnésie, en faisant bouillir ensemble une dissolution de sulfite de magnésie et de fleurs de soufre. Ce sel est d'une amertume extrême et très-soluble dans l'eau. Il n'attire point l'humidité de l'air, et cristallise avec facilité par le refroidissement. Lorsqu'on en projette sur un fer chaud, il brûle avec une flamme bleue, mais il ne peut se maintenir dans un état de pure combustion. Au chalumeau, il se boursoufle en une masse fongueuse, à raison du dégagement de son acide, précisément comme le fait le borax par la perte de son eau. La magnésie reste à l'état de pureté.

Séléniate. L'acide sélénique décompose le carbonate de magnésie et forme une matière cristalline qui, dissoute dans l'eau bouillante, dépose le *séléniate de magnésie* en cristaux, qui sont des prismes ou des tables tétraèdres. Ce séléniate étant chauffé, abandonne son eau de cristallisation et prend l'aspect d'un émail. Il ne se fond point et n'est pas décomposé à la chaleur rouge; mais il attaque le verre et finit par le traverser.

Si, après avoir dissous le séléniate de magnésie dans l'acide sélénique, on ajoute de l'alcool à la dissolution, il se produit un *biséléniate*, qui se précipite sous la forme d'une masse pulpeuse cohérente qui attire l'humidité de l'air. Ce sel est soluble dans l'eau; mais il ne cristallise pas[2].

DES SELS D'YTTRIA.

Séléniate. Lorsqu'on ajoute à une dissolution d'yttria un séléniate alcalin, il se produit un précipité blanc en gros flocons qui ne se dissout point dans un excès d'acide

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIII, page 308, et tome IX, page 264.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 524; Edin. Phil. jour. I, 41.

sélénique. Ce précipité, qui est un *séléniate d'yttria*, étant séché, prend l'apparence d'une poudre blanche. Soumis à l'action de la chaleur, il commence par abandonner son eau, et ensuite tout son acide.[1]

DES SELS DE GLUCINE.

Le *séléniate de glucine neutre* est sous la forme d'une poudre blanche insoluble. Le *biséléniate* est soluble. Il se réduit, par l'évaporation, en une masse d'apparence gommeuse. La chaleur décompose l'un et l'autre de ces sels.[2] Séléniate.

DES SELS D'ALUMINE.

M. Anat. Riffault ayant remarqué que la composition du *sulfate double d'alumine et d'ammoniaque* n'a été donnée, jusqu'à présent, dans aucun traité de chimie; et considérant cependant qu'on ne peut, sans la connaître, analyser d'une manière rigoureuse les différentes variétés d'alun du commerce, qui toutes contiennent une certaine quantité de ce sel, il a pensé qu'il serait utile d'en entreprendre l'analyse. Sulfate double d'alumine et d'ammoniaque.

Après avoir, dans cette vue, purifié de l'alun à base d'ammoniaque du commerce, jusqu'au point de ne plus contenir de fer, il a recherché avec soin les quantités d'alumine et d'acide sulfurique; et les résultats qu'il a obtenus lui ont donné comme termes moyens de plusieurs expériences, les proportions de 11,906 d'alumine pure, et de 36,104 d'acide sulfurique. En considérant alors que les 11,906 d'alumine pure doivent s'unir à 26,979 d'acide sulfurique, et que les 9,063 restans de cet acide saturent 3,898 d'ammoniaque, on en déduit pour les ingrédiens de l'alun ammoniacal, savoir :

Sulfate d'ammoniaque. . . .	12,961
Sulfate d'alumine.	38,885
Eau.	48,154
	100,000

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 530; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 265.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 534; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 265.

M. Riffault fait observer que la théorie des proportions chimiques confirme son analyse ; car en calculant les élémens du sel, dans l'hypothèse, qu'il est formé comme l'alun ordinaire, on trouve ;

1 proportion sulfate d'ammoniaque.	71,67	12,838
3 proportions sulfate d'alumine. . .	216,69	38,816
24 proportions d'eau.	269,88	48,346
	558,24	100,000

La composition résultante de l'analyse est donc bien réellement celle du sulfate double d'alumine et d'ammoniaque.[1]

Sous-sulfate d'alumine et de potasse.

M. Anat. Riffault a cru devoir aussi s'occuper de recherches sur la véritable composition du *sous-sulfate d'alumine et de potasse*, que les anciens chimistes avaient désigné par les noms d'*alun saturé de sa terre*, d'*alun aluminé ;* sel dont les élémens n'avaient point été déterminés d'une manière précise.

Après avoir opéré sur des quantités différentes d'*alun aluminé* préparé par lui avec soin, il obtint pour termes moyens de plusieurs expériences les proportions, dans 100 parties du sel, de 36,187 acide sulfurique, 35,165 alumine pure, et 10,824 potasse. En déduisant la somme de ces trois élémens, de 100 parties, le reste, 17,824, doit représenter la quantité de l'eau contenue dans l'alun aluminé, quantité qu'on ne peut évaluer de toute autre manière, parce que cette eau adhère tellement au sel qu'on risquerait de lui faire éprouver un commencement de décomposition, en cherchant à la séparer en totalité par l'action de la chaleur. Cependant M. Riffault fait remarquer qu'en chauffant modérément le sel, il a perdu 14,300 pour 100 de son poids. L'*alun aluminé* contient donc, d'après cette analyse, sur cent parties, savoir :

Acide sulfurique.	36,187
Alumine.	35,165
Potasse	10,824
Eau.	17,824
	100,000

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 439.

D'où il suit que ce sel est formé de

Sulfate de potasse.	20,019
Sous-sulfate d'alumine.	62,157
Eau.	17,824
	100,000

Si l'on cherche à établir théoriquement la composition de l'alun aluminé, on voit que la même analyse ci-dessus indique, savoir :

4 atomes acide sulfurique. . . .	200,46	36,108
1 atome potasse.	58,99	10,626
9 atomes alumine	194,49	35,036
9 atomes eau	101,18	18,230
	555,12	100,000

La véritable composition de l'alun aluminé, ou sous-sulfate d'alumine et de potasse, sera donc représentée par

1 atome sulfate de potasse. . .	109,10	19,654
3 atomes sous-sulfate d'alumine.	344,84	62,116
9 atomes eau.	101,18	18,230
	555,12	100,000.[1]

M. Arfwedson assure qu'en ajoutant du sulfate de lithine à du sulfate d'alumine, il se dépose peu à peu un sel en cristaux octaèdres, ou dodécaèdres, qui est un sel double de *sulfate d'alumine et de lithine;* mais M. Gmelin ayant essayé, à trois fois différentes, de former ce sel, il n'a pu y réussir.[2] Sulfate d'alumine et de lithine.

En précipitant le muriate d'alumine par du bi-séléniate d'ammoniaque, on obtient un *séléniate d'alumine* neutre, sous la forme d'une poudre blanche, insoluble dans l'eau. Chauffé, ce séléniate abandonne son eau, et ensuite son acide s'en sépare. Séléniates d'alumine.

On forme le *biséléniate* en faisant dissoudre le sélé-

[1] Annales de chimie et de physique, tome XIV, page 355.
[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 541; Gilbert's Annalen, LXII, 418; Annales de chimie et de physique, tome X, page 93.

niate, ou de l'hydrate d'alumine, dans l'acide sélénique. La saveur de ce sel est astringente; et il se réduit, par l'évaporation, en une matière transparente, qui ressemble à la gomme.[1]

DES SELS DE FER.

Persulfate. Lorsqu'après avoir fait dissoudre dans l'acide sulfurique du peroxide de fer, obtenu du pernitrate par l'ammoniaque, on évapore la dissolution jusqu'à consistance de sirop; il s'y dépose peu à peu des cristaux octaèdres. Ces cristaux, transparens et incolores, ont une saveur qui ressemble exactement à celle de l'alun. Ils se dissolvent aisément dans l'eau. Chauffés, ils éprouvent la fusion aqueuse, et prennent aussitôt une couleur rouge. Si l'on en sépare l'eau de cristallisation par le moyen de la chaleur, ils sont partagés en deux portions; l'une est soluble dans l'eau, et l'autre ne se dissout pas dans ce liquide. Les parties constituantes de ce sel sont, d'après l'analyse qu'en a faite M. Cooper, ainsi qu'il suit :

Acide sulfurique	31,58
Peroxide de fer	15,79
Eau	52,63
	100,00

On voit que le poids de l'acide est juste le double de celui de l'oxide; d'où il suit, qu'en reconnaissant le poids d'un atome de peroxide de fer comme étant 10, le sel sera un quadripersulfate; mais si l'on fait le poids d'un atome de peroxide de fer égal à 5, le sel sera un *bipersulfate*.

Ce sel fut obtenu pour la première fois en cristaux par M. Rainey de Glascow. M. Sylvester de Derby paraît aussi en avoir reconnu l'existence; mais ce fut M. Cooper qui se le procura le premier en quantités, et qui, le premier aussi, en détermina la nature.

M. Cooper a également obtenu un autre persulfate de

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 542; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 264.

fer, contenant plus d'acide, qui cristallise en lames blanches, et est déliquescent à l'air; mais il n'a pas encore réussi à l'obtenir assez pur pour en faire l'analyse.[1]

Il y a quatre sous-espèces de ce sel de fer, savoir : Séléniates.

Le *protoséléniate.*
Le *biprotoséléniate.*
Le *persélénîate.*
Le *bipersélénîate.*

L'acide sélénique attaque à peine le fer; mais on peut obtenir le protoséléniate de ce métal, en mêlant ensemble des dissolutions d'un protosel de fer (sel à base d'oxidule de fer), et d'un séléniate alcalin; le sel se précipite sous la forme d'une matière blanche, qui se colore par degrés en jaune, à mesure que l'air agit sur elle. Si, après avoir versé de l'acide muriatique sur ce sel nouvellement formé, on chauffe un peu, l'acide est décomposé, et il se sépare du sélénium.

En dissolvant ce *protoséléniate* dans l'acide sélénique, ou en mêlant un protosel de fer avec un bisélénia te alcalin, on forme le *biprotoséléniate*, qui, étant peu soluble, commence, après quelques momens, à se déposer. Si l'on chauffe une dissolution contenant ce sel, il est décomposé, et il se produit un précipité brun.

Le *persélénîate* se produit aisément par l'addition d'un séléniate alcalin, à un persel de fer (sel à base de fer oxidé). Ce sel est sous la forme d'une poudre blanche, qui, par la dessiccation, devient jaunâtre. Ce séléniate étant chauffé, perd d'abord son eau de combinaison, et prend une couleur rouge; à une température élevée, l'acide peut aussi en être séparé.

Si l'on fait dissoudre du fer métallique dans un mélange bouillant d'acides sélénique et nitro-muriatique, en faisant attention à ce que tout l'acide nitrique ne soit pas décomposé, la liqueur dépose, pendant qu'elle se refroidit, sur les parois du vaisseau, un sel de couleur vert-pistache. Ce sel, insoluble dans l'eau, est considéré par

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 556; *Annals of philosophy*, XIII, 298.

M. Berzélius, comme le *biséléniate de l'oxide rouge de fer;* c'est le *bipersélèniate* de fer.

Si l'on fait digérer l'un des deux sels précédens dans de l'ammoniaque caustique, une portion de l'acide est séparée, et il se forme un *sous-persélèniate*, qui passe à travers le filtre, et auquel on peut enlever son acide par l'action de la chaleur.[1]

Citrate. Les oxides de fer se combinent, l'un et l'autre, avec l'acide citrique.

Le *citrate de fer* s'obtient en faisant dissoudre de la limaille de fer dans une dissolution d'acide citrique étendue d'eau, jusqu'à ce que l'acide soit saturé, en ayant soin de tenir, pendant que la dissolution s'opère, le liquide à l'abri du contact de l'air. Cette dissolution est presque incolore; et elle dépose, par le repos, une poudre blanche, qui est le citrate de fer. Ce sel, dont la saveur est astringente et sucrée, se dissout aisément dans l'eau; mais il est insoluble dans l'alcool. Exposé à l'air, il attire promptement l'oxigène. La couleur blanche de ce sel passe d'abord au jaune, puis au vert-olive, et il est transformé en percitrate.

Pendant que la dissolution du fer a lieu, il se dépose une matière blanche cristalline, d'une saveur acide et astringente, et qui est un bicitrate de fer. Ce sel ne se convertit pas aussi promptement en percitrate, que le citrate neutre.

La dissolution de percitrate de fer est de couleur vert-olive. Evaporée à siccité, elle laisse un sel de couleur brune foncée, visqueux, incristallisable, et qui, étant chaud, ressemble à de la poix-résine fondue. Il se durcit en refroidissant, et sa saveur est astringente et un peu sucrée. Ce sel entre promptement en déliquescence, et se dissout dans l'eau avec facilité.[2]

DES SELS DE NICKEL.

Séléniate. Le *séléniate de nickel* neutre est une poudre insoluble, blanche, lorsqu'elle est humide, et d'un vert-pomme

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 558; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 337.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 563.

pâle, étant séchée. Le biséléniate est soluble, et donne une matière verte qui ressemble à de la gomme.[1]

DES SELS DE COBALT.

Séléniates.

Le *séléniate de cobalt* neutre est une poudre couleur de rose, insoluble. Le biséléniate laisse, par l'évaporation, un vernis rouge, beau et luisant.[2]

DES SELS DE MANGANÈSE.

Hyposulfite.

Lorsqu'on précipite l'hyposulfite de chaux par du sulfate de manganèse, le sel qui reste en dissolution est l'*hyposulfite de manganèse.*

Hyposulfate.

L'*hyposulfate de manganèse* est très-soluble dans l'eau, et même déliquescent.

Séléniates.

Le *séléniate de manganèse* neutre est une poudre blanche, douce au toucher, insoluble. Ce sel est très-fusible; mais, fondu à vaisseau clos, il retient bien son acide; à l'air libre, au contraire, le manganèse absorbe l'oxigène, et abandonne son acide, qui se dégage. Ce séléniate attaque et corrode le verre avec beaucoup plus d'énergie que les séléniates de chaux ou de magnésie.

Le biséléniate est très-soluble dans l'eau; il donne, par l'évaporation, une masse saline cristallisable. A une température élevée, l'excès de son acide s'en sépare.[3]

DES SELS DE CERIUM.

Séléniates.

Le *persséléniate de cérium* est une poudre d'un jaune-citron, qui, par la chaleur, laisse dégager son acide. Le *bipersséléniate* est insoluble, et laisse, par l'évaporation, un vernis transparent, d'un jaune pâle.[4]

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 570; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 339.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 574; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 339.

[3] 6e édition de Thomson, vol. II, page 580; Edin. Phil. jour. I, 24; *Annals of philosophy*, XIV, 355; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 266.

[4] 6e édition de Thomson, vol. II, page 586; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 267.

DES SELS D'URANE.

Séléniates.

Le *séléniate d'urane* neutre est sous la forme d'une poudre d'un jaune-citron, qui, étant chauffé, abandonne son acide avec une portion d'oxigène, et laisse un oxide coloré en vert.

On forme le *biséléniate* en faisant dissoudre le séléniate dans l'acide sélénique. Ce sel donne, par l'évaporation, un vernis transparent, d'un jaune pâle. Ce vernis, entièrement sec, est blanc, opaque et cristallin.[1]

DES SELS DE ZINC.

Séléniates.

Le *séléniate de zinc* neutre est une poudre blanche, cristalline, insoluble dans l'eau. Ce sel, étant chauffé, abandonne d'abord son eau de combinaison; il se liquéfie ensuite, et devient jaune et transparent; mais par le refroidissement, il reprend sa couleur blanche. Sa surface et sa cassure sont cristallines. Chauffé au blanc, il laisse dégager une portion de son acide, et il est converti en un sous-séléniate qui n'est plus altéré par le feu.

Le *biséléniate* est très-soluble dans l'eau; il laisse, par l'évaporation, une matière transparente, qui ressemble à de la gomme.[2]

DES SELS DE CADMIUM.

Ce genre de sels, autant qu'il a pu être jusqu'à présent examiné, peut se distinguer par les caractères suivans.

Propriétés générales.

1. Ils sont, pour le très-grand nombre, solubles dans l'eau. Ces dissolutions sont incolores, ou avec une très-légère nuance de jaune; ceux des sels de cadmium qui ne se dissolvent pas dans l'eau, sont sous la forme de poudres blanches.

2. Lorsqu'on ajoute un alcali fixe à une dissolution de cadmium, l'oxide est précipité à l'état d'un hydrate blanc, et un excès du précipitant ne peut plus le redissoudre.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 591; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 266.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 597; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 265.

3. Le même précipité est produit par l'ammoniaque; mais il se redissout par une addition d'ammoniaque en excès.

4. Les carbonates alcalins précipitent le cadmium à l'état d'un carbonate blanc; et ce carbonate ne forme pas un hydrate, comme c'est le cas avec le carbonate de zinc. Il n'est pas non plus redissous par une addition de carbonate d'ammoniaque en excès, ainsi que cet effet a lieu avec le carbonate de zinc; à moins, cependant, qu'il n'existe un excès notable d'acide dans la dissolution avant l'addition du carbonate d'ammoniaque.

5. Le phosphate de soude précipite le cadmium à l'état d'une poudre blanche, tandis que le même sel précipite le zinc en écailles cristallines.

6. Le gaz hydrogène sulfuré et les hydro-sulfates précipitent le cadmium en jaune ou orangé; ce précipité ressemble à l'orpiment; mais on peut le distinguer par la facilité avec laquelle il se dissout dans l'acide hydrochlorique concentré, et à la propriété, qu'il a, de pouvoir supporter une chaleur rouge sans éprouver d'altération.

7. Le ferrochyazate de potasse précipite en blanc le cadmium de ses dissolutions.

8. L'infusion de noix de galle n'y occasione aucun précipité.

9. Une plaque de zinc, introduite dans une dissolution de cadmium, en précipite ce métal à l'état de feuilles dendritiques régulières, qui s'attachent au zinc.

Le *nitrate de cadmium* cristallise en prismes, ou en aiguilles adhérentes ensemble, et formant une masse rayonnée. Exposé à l'air, il entre promptement en déliquescence, et s'y résout en un liquide. Ce nitrate est composé, suivant l'analyse de M. Stromeyer, de Nitrate.

Acide nitrique. . . .	35,7838 . . .	35,064
Oxide de cadmium. .	42,1526 . . .	41,558
Eau.	22,0636 . . .	23,378
	100,0000	100,000 [1]

[1] Composition, d'après la théorie, en supposant le sel formé de 1 atome acide + 1 atome oxide + 4 atomes eau.

Carbonate. Le *carbonate de cadmium* est sous la forme d'une poudre blanche, insoluble dans l'eau, et qui étant chauffée en rouge, perd facilement son acide carbonique. Ce sel est composé, suivant M. Stromeyer, de

Acide carbonique.	25,453
Oxide de cadmium.	74,547
	100,000

Borate. Le *borate de cadmium* est une poudre blanche à peine soluble dans l'eau; et après qu'il a été desséché à une chaleur rouge, ses parties constituantes sont, d'après M. Stromeyer :

Acide borique.	27,8847
Oxide de cadmium. . . .	72,1153
	100,0000

Phosphate. Le *phosphate de cadmium* est une poudre blanche, insoluble dans l'eau, qui, à un commencement de chaleur blanche, se fond en un verre transparent. M. Stromeyer a trouvé ce phosphate composé de

Acide phosphorique.	30,7162
Oxide de cadmium.	69,2838
	100,0000

Sulfate. Le *sulfate de cadmium* cristallise en gros prismes droits, ayant beaucoup de ressemblance avec ceux de sulfate de zinc. Ce sulfate est très-soluble dans l'eau; il s'effleurit fortement à l'air, et abandonne son eau de cristallisation à une chaleur médiocre sans se liquéfier auparavant, comme c'est le cas avec le sulfate de zinc. Il se décompose difficilement au feu, et il peut supporter une faible chaleur rouge sans éprouver le moindre changement; à une forte chaleur rouge l'acide sulfurique s'en sépare, et il est transformé en un sous-sulfate, qui cristallise en lames et se dissout difficilement dans l'eau. D'après l'analyse de M. Stromeyer, le sulfate de cadmium, consiste dans

Acide sulfurique.	28,5230
Oxide de cadmium.	45,9564
Eau.	25,5206
	100,0000

L'*acétate de cadmium*, cristallise en petits prismes, disposés ordinairement entre eux de manière à former une étoile; ces cristaux sont peu altérables à l'air, et ils se dissolvent aisément dans l'eau. Acétate.

L'*oxalate de cadmium*, est une poudre blanche, insoluble dans l'eau. Oxalate.

Le *tartrate de cadmium*, est un sel qui cristallise en petites aiguilles qui adhèrent entre elles. Il se dissout à peine dans l'eau. Tartrate.

Le *citrate de cadmium* consiste dans une poudre blanche, cristalline, très-peu soluble dans l'eau.[1] Citrate.

DES SELS DE PLOMB.

En ajoutant du nitrate de plomb à la dissolution d'un hyposulfite quelconque, il se produit un précipité blanc, qui d'abord se redissout, mais que l'addition de la quantité nécessaire de nitrate rend permanent. C'est alors l'*hyposulfite de plomb*, sous la forme d'une poudre blanche farineuse. Ce sel, gardé pendant long-temps dans la bouche, y laisse une sensation douceâtre. A une température inférieure à celle de l'eau bouillante, il noircit; et la chaleur étant portée à un plus haut degré, il prend feu, devient rouge de chaleur et brûle avec une flamme faible. Si, alors, on le retire du feu, l'ignition et la combustion peuvent être maintenues pendant tout aussi long-temps qu'on a le soin d'ajouter de petites quantités de la substance. Chauffé dans une cornue, ce sel perd 20 pour cent de son poids, et cette perte consiste dans du gaz acide sulfureux pur. Lorsqu'il est mis à l'état d'ignition complète, la perte est de 20,6 pour cent. Le résidu, en une poudre noire, est, suivant Hyposulfite.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 600; *Gilbert's Annalen* LX, 193; Annales de chimie et de physique, tome XI, page 76.

M. Herschell, un oxide sulfuré de plomb. D'après l'analyse que ce chimiste en a faite, l'*hyposulfite de plomb* est composé de

Acide hyposulfureux.	29,7
Oxide de plomb.	70,3
	100,0

C'est donc un binhyposulfite de plomb.

Séléniate. Le *séléniate de plomb* est sous la forme d'une poudre blanche, qui se dépose très-rapidement, et n'est pas soluble dans un excès d'acide. Chauffé, ce sel se fond, il devient transparent et jaune; en refroidissant, il recouvre sa couleur blanche, acquiert de l'opacité, et offre une cassure cristalline. Chauffé presque au blanc, ce séléniate commence à bouillir, et il se sublime de l'acide sélénique; il reste un sous-séléniate de plomb demi-transparent, friable, et à cassure cristalline fortement prononcée.

Le séléniate de plomb consiste, d'après l'analyse de M. Berzélius, dans

Acide sélénique.	1
Oxide de plomb.	2
	3 [1]

Sous-acétate. Le *sous-acétate de plomb* cristallise en gros prismes rhomboïdaux comprimés, avec angles de 106 et 74 degrés. Chaque prisme est terminé par un sommet dièdre, formé par deux faces procédant des faces étroites du prisme et se rencontrant en un angle de 130 degrés. Ces cristaux ne s'altèrent point à l'air. Le sel a une saveur sucrée et astringente, qui ressemble à celle du sucre de plomb ordinaire. Sa pesanteur spécifique est de 2,575. A la température de 150° centigrades, 100 parties d'eau dissolvent 34,8 parties du sel. Il se dissout aussi dans l'alcool. Chauffé, il fond et entre en ébullition, en abandonnant d'abord de l'eau et ensuite de l'acide acétique. Il se

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 612; Edin. Phil. jour. I, 24; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 339.

solidifie tout à la fois, et c'est alors une poudre de couleur orangé, consistant entièrement dans un mélange de deux parties de protoxide de plomb et d'une partie de plomb.

Le sous acétate de plomb est composé, d'après l'analyse que M. Thomson en a faite, de

Acide acétique.	22
Protoxide de plomb.	59
Eau.	19
	100

De manière qu'il consiste dans 4 atomes acide acétique + 5 atomes protoxide de plomb + 19 atomes eau.[1]

DES SELS D'ÉTAIN.

Le muriate d'étain n'occasione pas de précipité dans la dissolution d'un hyposulfite alcalin; d'où il suit que l'*hyposulfite d'étain* doit être un sel soluble. Hyposulfite.

Le *persélèniate d'étain* est une poudre blanche, insoluble dans l'eau, mais qui se dissout dans l'acide muriatique concentré; il est précipité de cette dissolution par l'eau; la chaleur décompose ce séléniate.[2] Séléniate oxidé.

DES SELS DE CUIVRE.

En faisant digérer de l'hyposulfite de chaux sur du carbonate de cuivre, ou en mêlant du sulfate de cuivre avec de l'hyposulfite de chaux, de potasse, etc., on forme un *hyposulfite de cuivre*. Ce sel est incolore, d'une saveur fortement sucrée, suivie d'une sensation douceâtre, fade, qui ressemble à la saveur de la réglisse, mais sans goût métallique. L'ammoniaque ne le décompose, ni le fait tourner au bleu; c'est un protohyposulfite de cuivre. Hyposulfite.

Il y a trois espèces connues de ces sels. Séléniates.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 618; *Annals of philosophy*, XIV, 382.

[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 628; Edin. Phil. jour. I, 24; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 341.

Protosélé-niate. Le *protosélèniate de cuivre* est une poudre blanche insoluble, qu'on obtient en faisant digérer du protoxide de cuivre dans de l'acide sélénique.

Persélèniate. Lorsqu'on a mêlé avec du bisélèniate d'ammoniaque une dissolution chaude de sulfate de cuivre, il se produit un précipité jaune, en flocons très-volumineux. Ce précipité, en diminuant très-rapidement de volume, se transforme en petits cristaux soyeux, très-brillans, de couleur bleue-verdâtre. Ces cristaux consistent en un *persélèniate de cuivre*, neutre. Ce sel n'est soluble, ni dans l'eau, ni dans l'acide sélénique liquide. Chauffé, il abandonne son eau de cristallisation, et il devient d'un brun hépatique. A une température plus élevée, il se fond et noircit; il commence alors à bouillonner, son acide s'en dégage peu à peu, et à la fin il ne reste plus que du peroxide de cuivre.

Sous-persé-léniate. En précipitant du sulfate de cuivre par du sous-sélèniate d'ammoniaque, il se dépose une poudre insoluble d'un vert-pistache, qui est un *sous-persélèniate de cuivre*. Ce sel se dissout dans l'ammoniaque. Chauffé, il noircit, en abandonnant son eau de cristallisation; il se boursoufle alors, et laisse dégager son acide.[1]

DES SELS DE MERCURE.

Nitrate. Quoique les chimistes aient été depuis long-temps familiarisés avec les effets de l'action de l'acide nitrique sur le mercure, cependant c'est M. Donovan, qui, le premier, a déterminé avec exactitude la nature des sels formés par cette action. L'acide nitrique dissout avec facilité le mercure pur, avec ou sans l'aide de la chaleur. La dissolution concentrée dépose peu à peu des cristaux de couleur blanche, qui consistent toujours en totalité, dans du *protonitrate* pur de mercure. Ces cristaux sont des octaèdres, dont tous les angles solides sont ordinairement tronqués. Ils ont une forte saveur mercurielle, et agissent avec une grande énergie sur le système. Exposés à l'air, ils perdent peu à peu une por-

[1] 6e édition de Thomson; vol. II, page 639; Edin. Phil. jour. I, 24; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 340.

tion de leur acide et deviennent jaunes. L'eau produit le même effet en leur enlevant également une portion de leur acide. Ils se dissolvent dans de l'eau acidulée avec de l'acide nitrique, et la dissolution est incolore. En les lavant avec de l'eau chaude, il se sépare de l'eau un dépôt gris-bleuâtre, qui est un *sous-protonitrate de mercure*. La poudre jaune contient une plus grande proportion d'acide. Ce sous-protonitrate étant chauffé, l'acide est décomposé, et le mercure converti en peroxide. L'hydrogène sulfuré, et le protomuriate d'étain précipitent le mercure à l'état métallique, des dissolutions de ce sel.

Si, après avoir fait dissoudre du peroxide de mercure dans l'acide nitrique, on évapore cette dissolution à siccité, le résidu est une masse blanche, cristalline, déliquescente à l'air, mais qui n'y devient pas complétement liquide; c'est le *pernitrate de mercure*. Ce sel ne cristallise pas régulièrement; il a plus d'âcreté que le protonitrate; il reste toujours en dissolution après que le protonitrate a cristallisé. En mettant de l'eau sur ce pernitrate sec, il y a décomposition; il se dissout du supernitrate de mercure, et il reste du sous-pernitrate à l'état d'une poudre brune, insoluble. [1] Pernitrate.

Il y a deux sous-espèces de ce sel. Le *protoséléniate* est la poudre blanche insoluble qu'on obtient, en ajoutant de l'acide sélénique à un protosel de mercure. Ce séléniate étant chauffé, se fond en une masse d'un brun foncé, et lorsqu'il est refroidi il devient jaune-citron. A une chaleur plus forte, il peut être distillé en gouttes de couleur d'ambre, ordinairement transparentes. Ce sel est décomposé par la potasse et aussi par l'acide muriatique. Séléniates.

En saturant l'acide sélénique avec du peroxide de mercure, il se dépose une poudre blanche, presque insoluble dans l'eau, qui est un *persélénialе de mercure*. Si, après n'avoir dissous dans l'acide qu'une portion seulement de l'oxide, on filtre et on évapore cette dissolution, elle fournit de gros cristaux prismatiques, Persélénialе.

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 657; *Annals of philosophy*, XIV, 246.

striés longitudinalement. Ces cristaux sont le *biperiété-niate de mercure*. Ce sel est peu soluble dans l'alcool; chauffé, il se liquéfie dans son eau de cristallisation. Le sel anhydre ne se fond pas, mais il se sublime sans éprouver d'altération. [1]

DES SELS D'ARGENT.

Hyposulfite.

Lorsqu'on ajoute du nitrate d'argent à un hyposulfite quelconque suffisamment étendu, il se forme un nuage blanc, qui se redissout par l'agitation de la liqueur; mais en continuant d'ajouter du nitrate d'argent, le nuage disparaît et se rassemble en un précipité floconneux d'un gris sale; et ce précipité est un *hyposulfite d'argent*. Ce sel, d'une saveur sucrée très-marquée, est soluble dans l'eau. Sa dissolution n'est pas précipitée par l'acide muriatique. Etant gardé, il se décompose peu à peu, et finit par être converti en un sulfure d'argent.

Tous les hyposulfites peuvent dissoudre le chlorure d'argent. La dissolution a une saveur sucrée, et semble, par conséquent, consister dans de l'hyposulfite d'argent, uni probablement à la base de l'hyposulfite employé. De ces sels doubles, M. Herschell a examiné ceux qui suivent.

Hyposulfite de potasse et argent.

Lorsqu'on ajoute de la potasse à une dissolution de chlorure d'argent dans de l'hyposulfite de soude, il se produit un précipité abondant, consistant en petites écailles nacrées, ressemblant à de l'acide borique. Ces écailles sont l'*hyposulfite de potasse et d'argent*. Leur saveur est très-fortement sucrée; au chalumeau noirci, elles se fondent, et laissent un grain d'argent au milieu d'une masse saline qui s'étend sur le charbon. Le même précipité est produit par les carbonate, nitrate, sulfate, et probablement tous les sels de potasse. D'après cela, M. Herschell propose la dissolution de chlorure d'argent dans l'hyposulfite de soude, comme réactif d'un emploi utile pour distinguer la potasse de la soude.

Hyposulfite de soude et d'argent.

Lorsqu'on évapore à une douce chaleur la dissolution de chlorure d'argent dans l'hyposulfite de soude, elle

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 661; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 342.

fournit des cristaux en lames soyeuses fines, d'une saveur très-sucrée, et se dissolvant avec facilité dans l'eau. Ces cristaux sont un *hydrosulfite de soude et d'argent.*

Hyposulfite d'ammoniaque et d'argent.

En faisant dissoudre du chlorure d'argent dans de l'hyposulfite d'ammoniaque, et en mêlant de l'alcool avec la dissolution, il se forme un *hyposulfite d'ammoniaque et d'argent.* Ce sel est blanc, très-soluble dans l'eau, et d'une saveur extrêmement sucrée. Une partie de ce sel suffit pour donner un goût sucré sensible à 32000 parties d'eau. En évaporant la dissolution alcoolique, on obtient quelquefois le même sel en lames héxagonales allongées. Ce sel est composé, d'après l'analyse de M. Herschell, de

2 atomes hyposulfite d'ammoniaque.
1 atome hyposulfite d'argent.

Si, après que l'hyposulfite d'ammoniaque ne peut plus dissoudre davantage de chlorure d'argent, on en ajoute une nouvelle quantité, il est rapidement converti en cristaux blancs pulvérulens. Cette poudre est à peine soluble dans l'eau, mais elle se dissout aisément dans l'ammoniaque, formant ainsi une liqueur très-fortement sucrée, d'où elle est précipitée par un acide sans avoir éprouvé d'altération. M. Herschell considère cette poudre comme étant un composé de

1 atome hyposulfite d'ammoniaque.
1 atome hyposulfite d'argent.

Hyposulfite de chaux et d'argent.

En faisant dissoudre du chlorure d'argent dans de l'hyposulfite de chaux, et en mêlant ensuite la dissolution avec une quantité considérable d'alcool, il se produit un *hyposulfite de chaux et d'argent.*

C'est un sel blanc d'une saveur sucrée intense et soluble dans l'eau. Il suffit d'une chaleur médiocre pour le décomposer.

Lorsqu'on ajoute à l'hyposulfite de chaux plus de chlorure d'argent qu'il n'en peut dissoudre, la portion additionnelle est convertie en une poudre cristalline volumineuse, très-difficilement soluble dans l'eau, mais se dis-

solvant abondamment dans l'ammoniaque, et communiquant à ce liquide une saveur fortement sucrée. M. Herschell considère cette poudre comme étant formée de

1 atome hyposulfite de chaux.
1 atome hyposulfite d'argent.

Hyposulfite de strontiane et d'argent.

L'action de l'hyposulfite de strontiane sur le chlorure d'argent donne naissance à de l'*hyposulfite de strontiane et d'argent.* Ce sel est presque insipide et insoluble dans l'eau; mais il se dissout facilement dans l'ammoniaque, et donne à ce liquide une saveur sucrée.[1]

Séléniate.

Si l'on verse de l'acide sélénique dans une dissolution de nitrate d'argent, il se précipite, sous la forme d'une poudre blanche, un séléniate d'argent. L'eau bouillante dissout un peu de ce sel, qui est complétement soluble dans l'acide nitrique bouillant; mais il en est précipité lorsqu'on étend d'eau cette dissolution acide. Si l'on mêle une dissolution de ce séléniate dans l'acide nitrique bouillant avec de l'eau bouillante, le sel se précipite en aiguilles à mesure que la dissolution refroidit. Le séléniate d'argent ne noircit point par son exposition à la lumière. Comme le chlorure d'argent, chauffé, il se fond et devient, ainsi que ce chlorure, transparent. En refroidissant, ce séléniate est converti en une masse blanche, opaque, friable, dont la cassure est cristalline. Lorsqu'étant fortement chauffé, on l'expose à un courant d'air, il se dégage de l'acide sélénique et du gaz oxigène, et le sel se recouvre d'une pellicule métallique. Il consiste, suivant M. Berzélius, dans

Acide sélénique.	100
Oxide d'argent	205,75[2]

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 670; Phil. jour. I, 26, 27 et 398.
[2] 6e édition de Thomson, vol. II, page 672; Annales de chimie et de physique, tome IX, page 343.

Sulfure hydrogéné de chaux.

Si après avoir fait bouillir pendant une heure, avec vingt-fois son poids d'eau, un mélange de trois parties de chaux éteinte, et d'une partie de soufre, on décante le liquide encore chaud qui surnage la portion non dissoute dans des flacons exactement remplis et bouchés, il s'y dépose, au bout de quelques jours de repos, des faisceaux déliés de cristaux de couleur orangée. Si on laisse la liqueur froide en contact pendant quelques heures avec le dépôt, il y a formation très-abondante dans toute sa substance, de ces cristaux, dont la surface du dépôt se trouve hérissée, et même qu'on voit pendans de celle de la liqueur. Ces cristaux lavés avec de l'eau et séchés dans le vide au moyen de l'acide sulfurique, sont rendus permanens dans une atmosphère sèche. Ce fut M. Herschell qui, le premier, les remarqua et en présenta la description. Ils ont la forme de prismes tétraèdres, un peu allongés, terminés par des sommets dièdres. Ces cristaux sont très-peu solubles dans l'eau. La pesanteur spécifique de l'eau qui en est saturée à une température entre zéro et + 8 degrés centigrades, est de 10,105. Ils sont d'un jaune vineux, et leur saveur est âcre, amère et sulfureuse; ils se dissolvent en beaucoup plus grande proportion dans l'eau chaude, et ils ne se déposent dans cette dissolution par refroidissement, qu'autant qu'on y ajoute quelqu'autre corps en poudre fine. D'après l'analyse qui en a été faite par M. Herschell, ces cristaux sont formés de 1 atome d'hydrogène bisulfuré uni à 2 atomes de chaux, et 4 atomes d'eau, ou de

Bihydrogène sulfuré	4,125	25,99
Chaux.	7,250	45,67
Eau.	4,500	28,34
	15,875	100,00

Ce sulfure hydrogéné est le seul cristallisé qui soit jusqu'à présent connu.[1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. II, page 703; Edin. Phil. jour. I, II.

DE LA COMBINAISON DE GAZ.

Gaz nitreux et hydrogène sulfuré.

M. Thomson annonce avoir fait plusieurs expériences sur l'action que peuvent exercer entre eux les gaz nitreux (deutoxide d'azote) et hydrogène sulfuré (gaz acide hydro-sulfurique), et il n'est point encore parvenu à reconnaître la nature des changemens qui ont lieu. Pour peu qu'il reste avec les gaz de l'air ordinaire, il se décompose du soufre sur les parois du vaisseau dans lequel on les a mêlés. Mais, lors même que ce mélange est fait assez en grand, comme, par exemple, de 1640 centimètres cubes de chaque gaz, on n'aperçoit point de trace d'eau si ces gaz ont été desséchés avant leur mélange. Lorsque ces gaz sont parfaitement purs, il ne se dépose pas de soufre; mais il se présente une substance colorée en rouge, quelquefois en petits cristaux, et d'autres fois liquide. Dans ce dernier cas sa couleur passe au vert jaunâtre. Cette substance est soluble dans l'eau. La dissolution a l'odeur de gaz hydrogène sulfuré, mais on n'y peut découvrir par les réactifs la présence de ce gaz. Elle précipitait en blanc l'antimoine, comme l'aurait fait de l'eau pure, et ne produisait aucun effet quelconque dans les dissolutions de fer et de cuivre. Lorsque les deux gaz sont mêlés à volumes égaux, le volume du gaz résidu est, terme moyen, du quart de celui du mélange; et ce gaz résidu ne contient pas d'hydrogène sulfuré, car il ne produit aucun changement dans la dissolution d'acétate de plomb. Si on le laisse sur l'eau pendant vingt-quatre heures, il est complétement absorbé. Lorsqu'après l'avoir mêlé avec du gaz hydrogène, on fait passer une étincelle électrique à travers le mélange, il se produit une détonation accompagnée de flamme bleue. Il exigeait pour sa combustion complète la moitié environ de son volume de gaz hydrogène, et le volume de gaz résidu était à peu près le même que le volume original du gaz. M. Thomson conclut de ces expériences, que le gaz résidu était un mélange d'environ 40 volumes de protoxide d'azote et 18 volumes d'ammoniaque. Si l'on suppose un mélange de 100 volumes de deutoxide d'azote,

et de 100 volumes d'hydrogène sulfuré, la constitution de ces gaz sera, savoir :

	volumes.
100 volumes deutoxide d'azote, composés de. . .	50 azote + 50 oxig.
100 volumes gaz hydrogène sulfuré, composés de	50 hyd. + 50 soufre.
	50 azote + 50 oxig. + 50 hyd. + 50 soufre.

Le gaz résidu consiste dans 40 volumes de protoxide d'azote. .	= 40 azote + 20 oxig.
18 volumes d'ammoniaque. . .	= 9 azote + 0 oxig. + 27 hydrog.
Total du gaz résidu. .	= 49 azote + 20 oxig. + 27 hydrog.

Il paraîtrait d'après cela, suivant M. Thomson, que la totalité de l'azote se trouve dans le gaz résidu, et tout le soufre dans la substance solide rouge, condensée sur les parois du vaisseau.

Cette substance rouge doit donc être composée de

50 volumes soufre, ou, probablement, soufre 5 atomes.
27 volumes hydrogène, ou probablement, hydrogène 3 atomes.
50 volumes oxigène, ou probablement, oxigène 6 atomes.

M. Thomson annonce avoir fait quelques expériences sur ce singulier composé, mais sans pouvoir lui reconnaître aucune propriété remarquable. Il se dissout aisément dans l'eau. La dissolution a l'odeur et la saveur de l'hydrogène sulfuré; mais elle n'a aucune action sur les dissolutions métalliques.[1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. III, page 46.

SUBSTANCES VÉGÉTALES.

INGRÉDIENS DES PLANTES.

Du sucre.

Sucre d'amidon.

M. J.-F. Daniell ayant souvent répété avec succès le procédé de M. Kirchoff, chimiste russe, pour convertir l'amidon en sucre, en faisant bouillir pendant 38 à 40 heures de l'amidon avec de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, voulut s'assurer si la chaleur de l'eau bouillante est absolument nécessaire, et s'il ne serait pas possible de réussir également à un degré plus faible de température long-temps continué.

Il fit en conséquence un mélange de 400 parties d'eau froide, 2 parties d'acide sulfurique concentré, et 100 parties d'amidon; après avoir bien agité ce mélange, il le plaça dans une étuve à la température de 38 à 50 degrés centigrades, en ayant attention de remplacer l'eau perdue par l'évaporation. Au bout de trois semaines le mélange n'avait éprouvé aucun changement.

Un nouveau mélange fait avec de l'eau bouillante au lieu d'eau froide, et placé, comme le premier, dans une étuve pendant le même temps, n'a présenté qu'une gelée claire sans aucune apparence de sucre.[1]

De l'amidon.

M. Théodore de Saussure a publié une suite d'expériences intéressantes sur les changemens qu'éprouve spontanément un mélange d'amidon et d'eau abandonné à lui-même, soit dans le vide, soit au contact de l'air. Il disparaissait près du quart de l'amidon, et les trois quarts

[1] Annales de chimie et de physique, tome X, page 219.

restans étaient convertis dans les substances suivantes, savoir :

1 sucre d'amidon.
2 gomme.
3 amidine.
4 ligneux amilacé.
5 ligneux mêlé de charbon,
6 amidon non décomposé.

Le poids du sucre d'amidon s'élevait à près de la moitié de celui de l'amidon. La gomme devrait plutôt être désignée par la dénomination d'amidon torréfié, comme ayant les caractères de cette substance.

L'*amidine*, que M. de Saussure a ainsi nommée, est une substance qui a des propriétés intermédiaires entre la gomme et l'amidon. On l'obtient du résidu de la décomposition de l'amidon, après en avoir extrait par l'eau froide tout ce qui était susceptible de se dissoudre dans ce liquide. L'eau bouillante dissout l'amidine et la laisse à l'état de pureté par l'évaporation à siccité. Cette substance est demi-transparente, cassante et très-soluble dans l'eau à la température de 62 degrés centigrades. Cette dissolution se colore en bleu avec l'iode. Le sous-triacétate de plomb la coagule, et elle est précipitée abondamment par l'eau de baryte; mais l'eau de chaux et l'infusion de noix de galle ne la précipitent pas. La dissolution aqueuse de potasse dissout l'amidine, et la dissolution ne présente point l'état visqueux; les acides et l'alcool l'en précipitent.

La substance appelée par M. de Saussure *ligneux amilacé* s'obtenait en mettant en digestion, dans dix fois son poids d'une lessive alcaline contenant un douzième de potasse, le résidu insoluble de l'amidon décomposé. Il se formait ainsi une dissolution brune de laquelle l'acide sulfurique étendu précipitait le ligneux amilacé sous la forme d'une substance combustible, légère, brune ayant l'éclat du jayet. Cette substance colore en bleu la dissolution aqueuse d'iode.[1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 75; Phil. trans. 1819, page 29; Annales de chimie et de physique, tome XI, page 379.

De l'indigo.

Composition de l'indigo.

Pour reconnaître quelles étaient les parties constituantes de l'indigo, M. Thomson crut devoir se servir à cet effet de l'indigo de la cuve de l'imprimeur en calicot, dans laquelle l'indigo est dépouillé de sa couleur bleue par du sulfate de fer, et tenu en dissolution au moyen de l'eau de chaux. Le liquide, dans cette cuve, est de couleur jaune; mais cette couleur passe immédiatement au bleu et l'indigo s'y précipite, par l'exposition du liquide à l'air.

Après avoir fait digérer dans de l'acide hydrochlorique, et sécher suffisamment l'indigo ainsi régénéré, M. Thomson le considérait comme pur, et le chauffait alors au rouge, mêlé avec une quantité suffisante de peroxide de cuivre. Il obtint d'un grain (environ 6,5 centigram.) d'indigo.

	centim. cubes.
Gaz acide carbonique. . . .	49
Gaz azote	7

Or 7 × 7 = 49, d'où il suit que l'indigo contient 7 atomes de carbone par 1 atome d'azote. Le poids du carbone et de l'azote, dans ces gaz, est,

			centigram.
Carbone	6,408	ou . . .	2,652
Azote	0,136	ou . . .	0,884
	20,544		3,536
Perte	6,456		2,964
	1,000		6,500

Cette perte doit être l'oxigène. Elle équivaut à 6 atomes. Ainsi les parties constituantes de l'indigo sont, savoir :

7 atomes carbone.	=	5,25
6 atomes oxigène.	=	6,00
1 atome azote.	=	1,75
		13,00

De sorte que le poids d'un atome d'indigo est 13. M. Thomson observe qu'il est possible que l'azote soit provenu de la présence de quelque impureté dans l'indigo; mais il assure n'être jamais parvenu à obtenir d'indigo qui ne lui eût pas fourni de l'azote.

En exposant la dissolution jaune d'indigo à un volume connu de gaz oxigène, jusqu'à précipitation de l'indigo en bleu, et en prenant note du volume du gaz absorbé, et du poids de l'indigo précipité, M. Thomson s'assura que l'indigo devient soluble dans les alcalis, et perd sa couleur bleue, lorsqu'on lui enlève un seul atome d'oxigène; d'où il suit que la base soluble de l'indigo consiste dans

7 atomes carbone	=	5,25
5 atomes oxigène	=	5,00
1 atome azote	=	1,75
		12,00.[1]

Du gluten.

M. Taddey, chimiste italien, a dernièrement reconnu que le gluten frais de froment peut être décomposé en deux principes, qu'il a distingués par les noms de *gliadine* (de γλις, gluten) et *zimome* (de ζύμη, ferment). Ces principes s'obtiennent isolés, en pétrissant le gluten frais avec des portions successives d'alcool, pendant tout aussi long-temps que ce liquide continue de devenir laiteux en l'étendant d'eau. Les dissolutions alcooliques, abandonnées au repos, déposent peu à peu une matière blanche, consistant dans de petits filamens de gluten; et elles deviennent transparentes. En abandonnant alors la liqueur à une évaporation spontanée, la *gliadine* reste en consistance de miel et à l'état de mélange avec une petite quantité d'une matière résineuse jaune, qu'on en peut séparer en faisant digérer ce résidu dans de l'éther sulfurique, qui ne dissout pas sensiblement la gliadine. La portion de gluten qui n'a pas été dissoute par l'alcool, est le *zimome*.

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 89; *Annals of philosophy*, XV, p. 486.

Gliadine. La gliadine sèche est de couleur jaune-paille, légèrement transparente, en plaques minces, cassante, et ayant une légère odeur de rayon de miel; elle exhale, lorsqu'elle est faiblement chauffée, une odeur qui ressemble à celle de pommes cuites. Dans la bouche, elle devient visqueuse, et sa saveur est douceâtre et balsamique. La gliadine est un peu soluble dans l'alcool bouillant; mais la dissolution perd de sa transparence à mesure qu'elle se refroidit; et lorsqu'elle est froide, elle ne retient qu'une très-petite quantité de gliadine. Cette dissolution forme une espèce de vernis sur les corps auxquels on l'applique. La gliadine se ramollit, mais ne se dissout pas dans l'eau distillée. Cette liqueur, étant chauffée à l'ébullition, la gliadine est transformée en écume, et le liquide reste légèrement laiteux. Cette liqueur est spécifiquement plus pesante que l'eau.

La dissolution alcoolique de gliadine devient laiteuse par son mélange avec l'eau, et elle est précipitée en flocons blancs par les carbonates alcalins; les acides minéraux et végétaux l'affectent à peine. La gliadine sèche se dissout dans les alcalis caustiques et dans les acides. Mise sur des charbons ardens, elle se boursoufle, et se contracte alors à la manière des substances animales. Elle brûle avec une flamme assez vive, et laisse un charbon léger, spongieux, difficile à incinérer. Elle est très-sensiblement attaquée par l'infusion de noix de galle. La gliadine est susceptible d'éprouver une fermentation lente, et de donner lieu à fermentation dans des dissolutions sucrées.

Zimome. Le gluten traité, comme on vient de le dire, avec l'alcool, est réduit à environ le tiers de son volume primitif. Cette diminution n'est pas seulement due à la séparation de la gliadine, mais aussi à celle de l'eau que le gluten contenait avant d'avoir été soumis à l'action de l'alcool. Le zimome, ainsi obtenu, est en petits globules, ou constitue une masse informe, dure, rude au toucher, incohérente, et d'un blanc cendré. Lavé dans de l'eau, il recouvre en partie sa viscosité, et sa couleur passe promptement au brun par le contact de l'air. Le zimome est spécifiquement plus pesant que l'eau; il fermente à la manière du gluten; car lorsqu'il entre en putréfaction,

il exhale une odeur urineuse fétide. Le zimome se dissout complétement dans le vinaigre et dans les acides minéraux, à la température de l'ébullition. Il se combine avec la potasse caustique, en formant ainsi une espèce de savon. Lorsqu'on le met dans de l'eau de chaux, ou dans des dissolutions de carbonates alcalins, il durcit, et prend une apparence nouvelle, sans se dissoudre. Projeté sur des charbons ardens, il exhale une odeur qui ressemble à celle de cheveux ou de corne qui brûlent, et il brûle avec flamme. Le zimome produit différentes espèces de fermentations, suivant la nature de la substance avec laquelle il se trouve en contact.[1]

Du camphre.

Composition.

M. Thomson, cherchant à déterminer la composition du camphre, fit passer un grain (environ 6,5 centigram.) de camphre à travers un tube de cuivre, rempli de peroxide de ce métal chauffé au rouge. Il obtint ainsi 95,6 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et 8,42 centigrammes d'eau = 0,009 gram. d'hydrogène = 111,71 centimètres cubes de gaz hydrogène. Or la quantité de carbone dans 95,6 centimètres cubes de gaz acide carbonique s'élève

	centigram.
à	4,778
L'hydrogène à	0,932
	5,710
Perte de poids.	0,790
	6,500

Et cette différence doit provenir de l'oxigène que le camphre contenait. Mais 0,790 gram. de gaz oxigène = 5,70 centimètres cubes. Il paraît donc, d'après cette expérience, que les parties constituantes du camphre, en le

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 91; *Annals of philosophy*, XV, page 390.

supposant à l'état gazeux, seraient, savoir :

	centim. cubes.
Hydrogène.	111,71
Carbone.	95,61
Oxigène.	5,70

ce qui est à peu près l'équivalent de

10 atomes hydrogène . . .	= 1,250	ou	14,49
$8\frac{1}{2}$ atomes carbone.	= 6,375		73,91
1 atome oxigène	= 1,000		11,60
	8,625		100,00[1]

De l'oliville.

C'est par ce nom que M. Pelletier a cru devoir désigner une matière particulière, qui constitue l'un des ingrédiens d'une substance d'apparence gommeuse, qui exsude de l'olivier. On l'obtient aisément, en faisant dissoudre la *substance gommeuse* dans de l'alcool rectifié, et en abandonnant cette dissolution à une évaporation spontanée. Il s'y dépose peu à peu des cristaux en aiguilles aplaties, d'un blanc jaunâtre. Ces cristaux sont l'*oliville* à l'état de pureté.

Propriétés. L'oliville est sous la forme d'une poudre blanche, brillante, amilacée, ou d'aiguilles aplaties. Elle n'a pas d'odeur; mais sa saveur est tout-à-fait particulière, comme étant en même temps amère et sucrée, et ayant quelque chose d'aromatique. Chauffée à 70 degrés centigrades, elle se fond, et prend, en refroidissant, l'apparence d'une résine de couleur légèrement jaunâtre. Dans cet état, elle devient électrique par frottement, mais sans qu'elle paraisse avoir éprouvé aucun changement chimique. Mise sur un charbon ardent, elle prend feu difficilement, et brûle en émettant beaucoup de fumée. A la distillation, elle donne de l'eau, de l'acide acétique et de l'huile; mais point d'ammoniaque. L'oliville est à peine soluble dans l'eau froide; il faut 32 parties d'eau bouillante pour dissoudre une partie de cette substance. La dissolution

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 114.

est transparente et incolore; mais elle devient laiteuse, en refroidissant, par la séparation de l'oliville, qui reste long-temps en suspension dans la liqueur. Les alcalis facilitent la dissolution de l'oliville dans l'eau, sans que sa nature en soit altérée, si ces alcalis ne sont pas concentrés. L'alcool est le meilleur dissolvant de l'oliville : à chaud, il paraît être capable de la dissoudre en toute proportion. L'éther sulfurique n'a point d'action sur elle, non plus que les huiles fixes et volatiles; cependant ces derniers corps en dissolvent à chaud une très-petite portion, qu'ils laissent précipiter à mesure qu'ils se refroidissent. L'acide nitrique dissout l'oliville à froid, et il se colore en un rouge foncé. Par l'application de la chaleur, l'action est de beaucoup augmentée; la couleur rouge disparaît, et le liquide devient jaune en refroidissant. Il se dépose beaucoup d'acide oxalique, et il se forme de la matière jaune amère. L'acide sulfurique étendu n'agit pas sur l'oliville; mais cet acide concentré le charbonne tout à coup. L'acide acétique concentré la dissout aisément, soit à froid, soit à chaud. La dissolution est incolore, et ne précipite point par son mélange avec l'eau, à moins que l'oliville ne soit accompagnée de résine; celle-ci étant, dans ce cas, précipitée en une poudre jaunâtre.

De tous les sels, les acétates de plomb sont les seuls qui aient de l'action sur les dissolutions d'oliville; ils précipitent sa dissolution aqueuse en flocons très-blancs, qui sont solubles dans l'acide acétique.[1]

Des résines.

M. Thomson, après avoir fait observer qu'il n'y a que trois résines, savoir, la *poix résine ordinaire*, la *sandaraque* et le *copal*, qui aient été analysées avec assez de précision pour nous mettre en état d'estimer le nombre d'atomes qui entrent dans leur composition, ajoute que très-probablement on confond ensemble différentes substances résineuses sous le nom de poix-résine; au moins ses expériences sur la poix résine ne s'accordent point

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 121; *Annals of philosophy*, XII, p. 33; Journal de pharmacie, tome II, page 337.

avec celles de MM. Gay-Lussac et Thenard. M. Thomson ayant fait passer un grain (6,5 centigram.) de résine dans un tube rempli de peroxide de cuivre chauffé au rouge, elle fut convertie en acide carbonique et en eau. Il obtint 81,932 centimètres cubes d'acide carbonique et 6,799 centigr. d'eau = 0,755 centigr. d'hydrogène. Le poids du carbone dans 81,932 centimètres cubes de gaz acide carbonique est de

	centigram.
	4,070
De l'hydrogène.	0,755
Total.	4,825
Manquant.	2,675
	7,500

M. Thomson considère cette perte comme étant de l'oxigène. Actuellement, en convertissant ces poids en volumes, on a

	centim. cubes.		atomes.		atomes.
Carbone. . .	81,932	. . ou	5	. . ou	10
Hydrogène.	90,125	. . ou	$5\frac{1}{2}$	. . ou	11
Oxigène. . .	12,209	. . ou	$1\frac{1}{2}$	. . ou	3

10 atomes carbone. . .	=	7,5
11 atomes hydrogène. .	=	1,375
3 atomes oxigène. . .	=	3, »
		11,875

Lorsque la résine est chauffée à la température de 134 degrés centigrades, elle devient tout-à-fait liquide; et si on la maintient à cette température, elle perd une certaine quantité d'eau, et probablement aussi d'huile. En la laissant alors refroidir, elle se solidifie en une poix-résine d'un jaune rougeâtre, composée, d'après les expériences de M. Thomson, de

4 atomes carbone. . . .	=	3, »
1 atome hydrogène. . .	=	0,125
3 atomes oxigène. . . .	=	3, »
		6,125

En faisant passer un grain (6,5 centigrammes) de sandaraque dans un tube rempli de peroxide de cuivre chauffé au rouge, on obtient 91,907 centimètres cubes de gaz acide carbonique et 6,5 centigrammes d'eau ; or, les poids du carbone et de l'hydrogène dans ces deux substances sont, savoir :

	centigram.
Carbone.	4,584
Hydrogène.	0,719
	5,303
Manquant.	1,197
	6,500

M. Thomson attribue ce déficit à l'oxigène. Or, en supposant ces trois parties constituantes à l'état de gaz, leur volume serait, savoir :

	centim. cubes.		volumes.
Carbone. . .	91,931	. . . ou . . .	14
Hydrogène. . .	83,883	. . . ou . . .	13
Oxigène. . .	8,752	. . . ou . . .	0,5

Ce qui équivaut à . . . . .

14 atomes carbone.	=	10,500
13 atomes hydrogène. . . .	=	1,625
1 atome oxigène.	=	1,000
		13,125

Lorsque la sandaraque a été maintenue pendant quelque temps à une chaleur de 153° centigrades en état de fusion, elle est considérablement altérée dans son apparence et dans ses propriétés. En l'analysant dans cet état, M. Thomson la trouva composée de

13 atomes carbone. . . .	=	9,75
16 atomes hydrogène. . .	=	2,00
4 atomes oxigène.	=	4,00
		15,75

Il paraît ainsi que, par l'exposition à la chaleur, les pro-

portions de l'hydrogène et de l'oxigène sont augmentées, et celle du carbone diminuée.[1]

De la laque.

Le docteur John publia en 1810 une suite d'observations sur la laque en bâton, d'où il tira la conclusion que cette espèce de résine consiste dans trois substances distinctes, savoir : une matière colorante, un corps particulier, auquel il donna le nom de *laccine*, et de la résine.

Il parut en 1816 une analyse faite avec soin par le même chimiste de la laque en bâton ; 120 parties de cette laque se composent, suivant lui, de

	parties.
Résine, insoluble dans l'éther.	80
Laccine.	20
Cochenilline.	4,5
Matière extractive.	3,»
Extrait jaune.	0,5
Acide laccique.	0,75
Cochenille colorée recouvrant les insectes.	2,5
Suif ayant la consistance de cire.	2,»
Laccate de potasse. . . . . / Sulfate de potasse. . . . . / Hydro-chlorate de potasse. . . . . / Phosphate de potasse. . . . . / Un sel de fer.	1,25
Matière terreuse.	0,75
Perte.	4,75
	120,00

La *laccine* était la matière qui restait après que la laque eut été mise à plusieurs reprises en digestion dans l'alcool et dans l'eau, jusqu'à ce qu'il ne fût plus rien enlevé par ces liquides. Elle se distingue par les caractères suivans.

Propriétés. La laccine est dure et cassante, de couleur jaune et avec un certain degré de transparence ; elle est inso-

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 128; *Annals of philosophy*, XV, p. 468.

luble dans l'eau froide, et se ramollit dans l'eau chaude, mais sans s'y dissoudre. Dans l'alcool froid, elle se ramollit, augmente de volume et devient glissante au toucher. L'alcool ne peut la dissoudre, même à chaud. Dans l'éther et les huiles essentielles, elle se boursoufle un peu, devient tout-à-fait transparente, mais ne s'y dissout pas.

La laccine se dissout très-facilement dans une lessive de potasse, et la dissolution se colore légèrement en brun. L'acide hydro-chlorique rend cette dissolution laiteuse, et la laccine se précipite lentement. L'acide sulfurique concentré dissout très-rapidement cette substance; la dissolution est de couleur améthiste, et elle se trouble par son mélange avec l'eau. En faisant bouillir pendant longtemps la laccine avec de l'eau contenant du dixième au huitième de son poids d'acide sulfurique, il ne s'en dissout qu'une petite portion. Cette portion s'obtient à l'état d'une gomme jaunâtre, lorsqu'après avoir séparé l'acide dans cette dissolution au moyen de la chaux, on l'évapore; c'est par cette propriété que la laccine se distingue aisément de la cérasine. L'acide nitrique concentré dissout lentement la laccine à l'aide de la chaleur. La dissolution est claire, de couleur jaune et sans aucune saveur amère. Elle dépose peu à peu quelques cristaux d'acide oxalique. Elle n'éprouve aucun effet de l'action de l'acide nitrique étendu, soit à froid, soit à chaud.

Lorsqu'on chauffe la laccine, elle se ramollit en exhalant une odeur aromatique. Elle ne se fond pas, mais elle se charbonne par degrés. A la distillation, la laccine fournit de l'eau, un acide qui, saturé avec la soude, précipite en blanc l'hydrochlorate de fer, et une huile d'un jaune brun. On ne découvre aucune trace d'ammoniaque dans les produits de la distillation.[1]

Du gaïac.

M. Taddey, chimiste italien, avait eu occasion de reconnaître qu'en mêlant de la farine de froment et de la résine de gaïac réduite en poudre, le mélange se colorait

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 142; Chemische Untersuchungen, I, 52, et IV, 12.

en bleu, dès, qu'après y avoir ajouté de l'eau, on le malaxait à l'air. Cette découverte ayant donné lieu à des recherches sur ce sujet, il a été observé, 1° que dans le mélange de résine, de gaïac et d'amidon pur, humecté d'eau, il ne se développait pas de couleur bleue; et qu'il en était ainsi des mélanges de cette résine avec d'autres matériaux immédiats des végétaux ne contenant pas de *zimome* (*voyez* article *gluten* ci-devant); 2° que le gaïac ne se colorait pas, ou que très-légèrement, lorsqu'il était mêlé avec des farines pauvres en gluten; 3° qu'il ne se manifestait aucune coloration dans le mélange du gaïac avec des farines dans lesquelles le gluten avait éprouvé de grandes altérations.

D'après ces résultats, on a cru pouvoir considérer la résine de gaïac comme étant un bon réactif pour reconnaître la farine de froment de bonne qualité, ou pour apprécier les altérations qu'elle peut avoir éprouvées par une légère fermentation ou par son mélange avec d'autres farines pauvres en gluten. La farine de froment pourrait être réciproquement aussi d'un emploi utile pour reconnaître la pureté de la résine de gaïac. On s'était assuré de plus que cette résine, malaxée avec le zimome, ne se colore qu'autant que le mélange s'opère avec le contact de l'air atmosphérique.

D'un autre côté, le docteur Wollaston avait précédemment observé que la racine de gaïac devient verte lorsqu'on l'expose en même temps au contact de l'air et de la lumière; et cet effet a lieu, suivant lui, au plus haut degré dans les rayons les plus réfrangibles; tandis, qu'au contraire, les rayons les moins réfrangibles font, par leur vertu désoxidante, reparaître la couleur bleue. Depuis, M. William-Brande a remarqué que le gaz oxigène verdissait plus promptement la résine de gaïac que l'air asmosphérique; ainsi le phénomène de la coloration de cette résine, qui résulte, d'après l'opinion de ces savans, de l'action sur cette substance, de l'air et de la lumière, M. Taddey l'attribue au gluten avec le concours de l'air atmosphérique.

Dans cet état de choses, M. Planche, pharmacien à Paris, qui s'était occupé, il y a déjà plusieurs années, de recherches sur la résine de gaïac, a cru devoir entre-

prendre de nouvelles expériences sur cette substance. Ces expériences lui ont fait connaître, 1° que plusieurs substances, mais particulièrement les racines fraîches, ont la propriété de développer la couleur bleue de la résine de gaïac dissoute dans l'alcool; 2° que la plupart de ces racines desséchées ne colorent plus la teinture de gaïac; 3° que d'autres racines ne font éprouver aucun changement à cette teinture; 4° qu'il est des substances qui, privées de la faculté de développer la couleur bleue, neutralisent cette propriété dans celles qui en jouissent; 5° qu'en général, les corps qui colorent en bleu la résine de gaïac, perdent cette propriété par la chaleur; 6° enfin, qu'il est des substances qui ne développent la couleur bleue ni à froid ni à chaud. Parmi les racines qui colorent en bleu, et avec lesquelles, au nombre de plus de 25, M. Planche fit des essais, sont celles de la consoude, de la pomme de terre, du navet cultivé, de l'oseille, etc., etc.; les racines qui ne colorent point en bleu, sont celles de patience sauvage, de fougère mâle, de fraisier, etc. Les substances qui neutralisent la propriété de la coloration en bleu dans celles qui la possèdent, sont la racine de réglisse sèche réduite en poudre et la racine de squine; et les substances qui ne produisent la couleur bleue ni à froid, ni à chaud, sont les mucilages de semences de lin, de psyllium, de coins et celui de gomme adraganthe.

Dans le cours de ses expériences, M. Planche eut occasion de reconnaître que la teinture de gaïac et le lait froid, agités ensemble, offrent un liquide d'une couleur bleu céleste; que le sérum de lait obtenu au moyen de la coagulation à froid par l'alcool, n'agit pas sur la teinture de gaïac; que du lait et de la teinture de gaïac, en ébullition l'un et l'autre, étant introduits dans un flacon bien sec, et chauffé pendant une demi-heure à une température de plus de 80 degrés pour en expulser l'air, il ne se produisait aucune action; enfin, que le mucilage de gomme arabique, qui, préparé à froid, colore en bleu, ne produit aucun changement lorsqu'on traite la gomme par l'eau bouillante.

M. Planche crut devoir examiner ensuite quelle pouvait être l'influence de la lumière et de l'air atmosphé-

rique sur la coloration en bleu de la résine de gaïac. Après avoir mis dans une soucoupe de terre brune un morceau de racine de *pastinaca sativa*, et recouvert cette soucoupe d'une petite cloche tubulée revêtue de papier noir, il introduisit aussitôt, par la tubulure, quelques gouttes de teinture de gaïac sur la racine; au bout d'une demi-heure ayant soulevé la cloche, il trouva que la racine, colorée d'un beau bleu, était en tout semblable pour la teinte, à un morceau de la même racine, arrosé de teinture de gaïac et exposé à la lumière diffuse; d'où il suit, que la réfrangibilité des rayons lumineux n'avait pas été dans l'expérience la cause de la coloration. Quant à l'influence de l'air atmosphérique, M. Planche ayant fait bouillir du lait pur, il l'introduisit après l'avoir laissé refroidir, dans une petite machine de compression en cristal; et au moyen d'une pompe aspirante et foulante, il y fit arriver autant d'air atmosphérique que le lait avait pu en absorber. Après trois heures de contact, pendant lesquelles l'appareil bien clos fut fortement agité, le lait ayant été mêlé avec de la teinture de gaïac, il n'y eut pas de coloration; et ce qui ajoute à cette preuve, que l'air ne contribue en rien à la coloration de la teinture de gaïac, c'est que du lait pur, qui n'a pas subi l'action de la chaleur, étant mêlé avec de la teinture de gaïac, la couleur bleue se développe dans le vide de la machine pneumatique comme à l'air libre.

D'après ce travail important sur la coloration de la résine de gaïac, et les résultats qu'il en a obtenus, M. Planche s'est borné à conclure, que si le concours de l'air et la lumière a été annoncé comme étant nécessaire pour produire cette coloration en bleu ou en vert, au moins cette théorie n'est-elle pas généralement applicable dans tous les cas où la coloration a lieu; puisque, toutes choses étant égales d'ailleurs de la part de ces deux agens, la résine de gaïac mélangée avec telle substance, se colore en vert ou en bleu; tandis que mélangée avec telle autre substance, sa couleur naturelle n'éprouve pas d'altération.[1]

---

[1] Journal de pharmacie, tome V, page 14.

Du caoutchouc.

M. Thomson, en observant qu'il a été avancé par Fourcroy, que le caoutchouc donne de l'ammoniaque à la distillation, annonce que, sans avoir vérifié l'expérience de laquelle ce savant a tiré cette conclusion, il a de fortes raisons de la considérer comme inexacte. Ayant fait passer un grain (6,5 centigrammes) de caoutchouc dans un tube de cuivre rempli de peroxide de ce métal chauffé au rouge, il obtint 76,761 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et 5,18 centigrammes d'eau, sans rien autre chose de plus; d'où il suit qu'il n'y a aucune raison de considérer l'azote comme une partie constituante du caoutchouc. Le poids du carbone dans 76,761 centimètres cubes de gaz acide carbonique est de

	centigram.
	3,840
Celui de l'hydrogène dans 5,18 centigrammes d'eau, est de	0,006
	3,846
Manquant.	2,654
	6,500

Ce déficit doit être attribué à l'oxigène présent dans le caoutchouc. Or, si l'on conçoit que ces trois ingrédiens y existent à l'état gazeux, leurs volumes seront ainsi qu'il suit :

	centim. cubes.		volumes.
Carbone.	76,761 . . .	ou . . .	5
Hydrogène.	69,022 . . .	ou . . .	$4\frac{1}{4}$
Oxigène.	15,364 . . .	ou . . .	1

Ce qui équivaut à

10 atomes carbone.	= 7,5
9 atomes hydrogène.	= 1,125
4 atomes oxigène.	= 4
	12,625 [1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 175; Annales de chimie, tome XI, page 232.

Du ligneux.

On a cru long-temps que l'acide sulfurique, en détruisant le tissu des matières organiques, se bornait à agir sur elles à la manière d'une haute température, et tendait plus ou moins à en opérer la combustion. M. Braconnot a été conduit à d'autres résultats. Il s'est assuré que sans charbonner la substance ligneuse, on pouvait la transformer en gomme et en sucre, par une variation d'équilibre de ses principes, et par leur combinaison avec ceux de l'eau, et, à ce qu'il paraît, avec une portion d'oxigène de l'acide sulfurique employé; d'où il résulte, qu'une quantité donnée de ligneux doit produire beaucoup plus que son poids de gomme ou de sucre, lorsqu'il est traité convenablement avec cet acide.

Conversion de la sciure de bois en sucre.

16 grammes de sciure de charme, broyée par petites portions avec de l'acide sulfurique d'une densité de 1,827, s'y dissolvent en grande quantité, quoiqu'il se dégage du gaz sulfureux; la liqueur mucilagineuse acide étendue d'eau, filtrée et saturée avec de la craie fournit par l'évaporation près de 10 grammes de gomme, que l'on peut transformer en sucre par une réaction prolongée de l'acide sulfurique affaibli bouillant.

M. Braconnot a reconnu depuis, que la sciure pouvait produire une plus grande quantité de gomme que celle qui nous vient d'être indiquée, en se servant d'acide sulfurique d'une densité inférieure à 1,827, qui est celui qu'il a employé dans ses premières expériences.

Conversion de la toile en gomme.

Les chiffons de toile, la paille ou le coton, se prêtent beaucoup mieux que la sciure de bois à cette singulière métamorphose de la matière ligneuse en gomme ou en sucre. 24 grammes de toile de chanvre ont perdu à la dessiccation 1 gramme d'eau hygrométrique; humectés et broyés avec 34 grammes d'acide sulfurique, il en est résulté presque aussitôt, et sans dégagement de gaz sulfureux, un mucilage très-épais, tenace, homogène et peu coloré, entièrement soluble dans l'eau, à l'exception d'une matière amiliforme du poids de 2,5 grammes, qui n'est qu'une portion du linge très-divisé que le filtre sépare de la dissolution mucilagineuse acide; celle-ci, saturée avec de la craie et privée du sulfate de chaux,

qu'elle retenait en dissolution, a fourni, par l'évaporation à siccité, une gomme transparente et peu colorée, du poids de 26,2 grammes, qui ont été fournis par 21,5 grammes de toile, déduction faite d'un gramme d'humidité, et de 2,5 grammes de matière ligneuse, amiliforme. Il résulte de l'analyse de ces 26,2 grammes de matière gommeuse, qu'ils peuvent être exprimés ainsi qu'il suit :

	grammes.
Matière ligneuse.	21,50
Elémens de l'acide sulfurique. .	2,83
Elémens de l'eau.	0,40
Chaux combinée.	1,47
Total.	26,20

Propriétés de la gomme artificielle produite par le ligneux.

Cette gomme, privée, par l'acide oxalique de la chaux qu'elle retenait, puis bien lavée à l'alcool, ressemble à la gomme arabique; elle est transparente, d'une légère couleur jaunâtre, d'une cassure vitreuse, fade, insipide et inodore; elle forme un vernis très-luisant sur la surface des corps; mais son mucilage est moins tenace que celui de la gomme arabique : aussi ses propriétés collantes sont-elles à un plus faible degré, ce qui n'empêche pas qu'elle ne puisse servir dans les arts. Sa dissolution dans l'eau n'est nullement troublée par le nitrate de baryte, ni par l'acétate de plomb; mais le sous-acétate de plomb y forme un *magma* très-blanc, soluble dans l'acide acétique affaibli. L'hydrochlorate d'étain protoxidé précipite aussi cette gomme de son dissolvant; mais le sulfate de fer rouge ne produit aucun changement, tandis qu'il coagule abondamment la dissolution de gomme arabique. Traitée par l'acide nitrique, cette gomme fournit une grande quantité d'acide oxalique, mais point d'acide mucique. La gomme arabique en poudre, broyée avec l'acide sulfurique concentré, se convertit en une gomme absolument semblable à celle dont on vient d'exposer les principales propriétés.

Sucre de bois ou de chiffons

Si, au lieu de saturer avec de la craie la dissolution mucilagineuse du bois, de la paille, ou du linge, avec l'acide sulfurique, on étend cette dissolution de plusieurs fois son poids d'eau, et qu'on la fasse bouillir pendant en-

viron 10 heures, ou jusqu'à ce qu'une portion de la liqueur saturée de carbonate de chaux ne précipite plus le sous-acétate de plomb, alors, on peut être assuré que toute la matière gommeuse est convertie en sucre, qu'il ne s'agit plus que de séparer de l'acide, en neutralisant celui-ci avec de la craie. La liqueur filtrée et évaporée en consistance de sirop, donne, 24 heures après, des indices de cristaux; et, au bout de quelques jours, le tout se solidifie en une seule masse de sucre cristallisé. Il est passablement pur, lorsqu'après l'avoir pressé fortement dans du linge usé, on le fait cristalliser une seconde fois; mais il devient d'un blanc éclatant, étant traité par le charbon animal. Ce sucre, d'une saveur franche et agréable, produit dans la bouche une légère sensation de fraîcheur. Il passe aisément à la fermentation alcoolique. Sa dissolution dans l'alcool chaud cristallise par le refroidissement. Ses cristaux sont en groupes sphériques, qui paraissent formés par la réunion de petites lames divergentes et inégales. Il est inutile d'insister davantage sur les autres propriétés de ce sucre artificiel qui est parfaitement identique avec le sucre de raisin. De 20,4 grammes de linge, traité par l'acide sulfurique, on a obtenu 23,3 grammes de sucre, desséché jusqu'au point qu'il commençait à répandre une odeur de caramel; néanmoins il y a eu quelques pertes. Cette augmentation remarquable est encore due à la fixation des élémens de l'eau, qui se sont combinés à la matière ligneuse dans les proportions nécessaires pour faire du sucre.

Puisque l'observation semble indiquer que le bois est de la gomme, ou du mucilage, moins de l'oxigène et de l'hydrogène dans les proportions pour faire l'eau, on peut, en remontant à l'origine de la formation de la matière ligneuse, apprécier les moyens que la nature met en œuvre pour la créer. En l'examinant un peu avant sa naissance, on voit qu'elle se présente sous la forme d'un mucilage dans lequel se font remarquer de petits grains blancs qui paraissent être une première ébauche du bois. Cette matière, en raison du rôle important qu'elle joue dans la végétation, a reçu, comme on le sait, le nom de *substance organisatrice*, ou *Cambium de Duhamel*. Aidée de l'influence vitale, cette subs-

tance paraît abandonner peu à peu une partie des élémens de l'eau, pour constituer d'abord le liber, les couches corticales, l'aubier, le parenchyme, et enfin le bois proprement dit, lequel doit être extrêmement variable dans la proportion de ses principes, suivant qu'il est de nouvelle ou d'ancienne formation. Cette manière d'envisager la transformation du cambium en bois, paraîtra assez probable, si l'on considère qu'on peut faire rétrograder ce dernier à son état primitif de mucilage. Il n'est pas besoin de rappeler que le bois se concrète souvent en grande abondance dans le sein même de la matière muqueuse et sucrée, comme cela se voit dans les fruits à noyaux, dans les concrétions ligneuses des poires, etc. Observons en outre que la mort du végétal ne met pas un terme à cette soustraction d'oxigène et d'hydrogène; elle continue d'avoir lieu, et fait passer les matières ligneuses sous différens états jusqu'à ce qu'elle soit entièrement détruite.

Acide végéto-sulfurique.

Cet acide se forme pendant la réaction de l'acide sulfurique sur le tissu ligneux, et paraît être le résultat de la combinaison d'une matière végétale avec l'acide hyposulfurique. Il est très-aigre, déliquescent, incristallisable; exposé à la température de l'eau bouillante, il se décompose, et fournit, pour résultat, de l'acide sulfureux, de l'acide sulfurique et une matière végétale en partie charbonnée. Cet acide ne produit aucun changement dans les dissolutions métalliques; le nitrate de baryte et le sous-acétate de plomb, n'en sont troublés en aucune manière. Il paraît dissoudre tous les oxides métalliques avec lesquels il forme des sels incristallisables.

Conversion du corps ligneux en ulmine.

Si au lieu d'ajouter au bois de l'oxigène et de l'hydrogène, pour le transformer en gomme ou en sucre, on lui soustrait au contraire une portion de ces deux principes, il en résulte une substance ayant une parfaite ressemblance avec l'ulmine qui exsude naturellement de l'ulcère sanieux des vieux ormes, et dont M. Vauquelin fit connaître le premier la nature particulière. C'est en étudiant l'action de la potasse sur le bois, que M. Braconnot est parvenu à produire artificiellement l'ulmine. Il s'est assuré que la matière ligneuse pure, n'est pas

sensiblement soluble dans la potasse; mais il en est tout autrement, lorsqu'on chauffe avec cet alcali un poids égal de sciure de bois et un peu d'eau dans un creuset d'argent ou de fer pour le torréfier, en ayant soin d'agiter continuellement le mélange; il arrive un moment où toute cette sciure se ramollit et se dissout presque instantanément et se boursoufle beaucoup; en versant de l'eau dans le creuset, toute la matière se dissout avec une extrême facilité, sauf un léger résidu formé de silice, de carbonate de chaux, de phosphate de chaux, et de quelques traces de matière végétale. On obtient une liqueur brune très-foncée qui retient en dissolution la potasse combinée avec l'ulmine; un acide en sépare celle-ci sous la forme d'un précipité brun floconneux abondant, qui ne demande plus qu'à être bien lavé. La sciure peut fournir plus du quart de son poids d'ulmine artificielle desséchée. Le linge usé donne les mêmes résultats; il se produit de l'eau, de l'acide acétique et une petite quantité d'huile jaune empyreumatique. L'ulmine artificielle est noire, brillante comme du jayet, très-fragile, et se divise aisément en fragmens anguleux; dans cet état de sécheresse, elle est insoluble dans l'eau; mais lorsqu'elle vient d'être précipitée, elle s'y dissout en petite quantité, surtout à l'aide de la chaleur: cette liqueur, d'une couleur brune foncée, mousse par l'agitation comme la dissolution d'ulmine naturelle, et comme elle, elle est précipitée de son dissolvant par le nitrate de mercure, le nitrate de plomb, le nitrate d'argent, le sulfate de fer rouge, le nitrate de baryte, l'acétate d'alumine, le chlorure de calcium, de sodium, la chaux et la litharge.

L'ulmine artificielle, non desséchée et chaude, rougit le papier teint par le tournesol. Elle se combine avec une extrême facilité à la potasse et à l'ammoniaque, et sature entièrement leurs propriétés; ces combinaisons, inaltérables à l'air, pourraient servir en peinture. La même substance est soluble dans l'acide sulfurique concentré, ainsi que dans l'alcool, ces dissolutions sont abondamment précipitées par l'eau. 20 grammes d'ulmine artificielle ont fourni à la distillation 4 grammes d'un liquide incolore, contenant de l'acide acétique et quelques traces de matière huileuse, 3 grammes d'huile brune empyreu-

matique, soluble en toute proportion dans l'alcool et dans la lessive alcaline; le résidu charbonneux, d'un aspect bronzé et irisé, pesait 9,8 grammes; il a laissé, après sa combustion, 0,75 grammes de cendres, composées en grande partie de carbonate de chaux, de phosphate et de sulfate de chaux, de silice et d'oxide de fer. Traitée par l'acide nitrique, l'ulmine artificielle fournit de l'acide oxalique, une matière assez abondante, peu soluble, d'une saveur amère, et d'une couleur de tabac d'Espagne; enfin un liquide brun acide qui précipitait la colle animale. L'ulmine existe dans plusieurs anciens produits du règne végétal, ainsi que l'a constaté M. Braconnot; elle fait partie constituante de l'humus; il paraît même que la portion soluble de certains terreaux est formée d'ulmine et d'ammoniaque. On la retrouve aussi en abondance dans la tourbe, dans quelques lignites; mais elle n'a pu être produite avec la houille. [1]

Des quinquinas.

MM. Pelletier et Caventou ayant entrepris de nouvelles recherches sur les quinquinas, se sont particulièrement occupés de l'examen chimique du *quinquina gris* (cinchona condaminea), du *quinquina jaune* (cinchona cordifolia), et du *quinquina rouge* (cinchona oblongifolia).

MM. Pelletier et Caventou se sont d'abord procuré, par le procédé du docteur Gomès de Lisbonne, la matière cristallisable nommée par lui *cinchonin*; mais ayant reconnu que par ce procédé le cinchonin obtenu était encore accompagné d'une matière grasse, ils eurent recours à une autre méthode pour se le procurer parfaitement pur. Et comme cette substance leur avait paru, lors même qu'elle contenait une matière grasse, jouir des propriétés Quinquina gris.

[1] M. Thomson rend compte, dans sa 6e édition, vol. IV, pag. 183, des expériences de M. Braconnot sur le ligneux, insérées dans le journal anglais *Annals of philosophy*, XVI, 92. Mais ce chimiste ayant bien voulu me transmettre l'exposé fait par lui de ses intéressantes recherches sur ce sujet, j'ai cru devoir le présenter ici de préférence à ce qui peut en avoir été dit ailleurs. R.

alcalines, ils pensèrent qu'il convenait de changer le nom de *cinchonin*, que lui avait donné le docteur Gomès, en celui de *cinchonine*, puisque dans la nomenclature française les bases salifiables organiques déjà connues ont une terminaison de ce genre.

La cinchonine à l'état de pureté s'obtient en aiguilles prismatiques déliées, dont on ne peut pas déterminer la forme cristalline, ou en plaques blanches translucides, cristallines, réfractant la lumière.

La cinchonine est très-peu soluble dans l'eau ; elle exige deux mille cinq cents fois son poids de ce liquide bouillant pour s'y dissoudre, et par le refroidissement la dissolution prend une teinte opaline.

La cinchonine a une saveur amère particulière, elle est inaltérable à l'air ; cependant à la longue elle absorbe de l'acide carbonique. Exposée à la chaleur dans des vaisseaux fermés, elle ne se fond pas avant de se décomposer. A la distillation à feu nu, elle fournit en général les mêmes produits que les matières végétales non azotées ; distillée avec de l'oxide de cuivre dans un appareil convenable, elle ne fournit que de l'eau et de l'acide carbonique ; d'où il suit qu'il n'entre dans sa composition que de l'oxigène, de l'hydrogène et du carbone ; brûlée par le nitrate d'ammoniaque, elle ne laisse aucune trace de matières minérales alcalines ou terreuses.

La cinchonine est très-soluble dans l'alcool, surtout à l'aide de la chaleur. Ses dissolutions alcooliques sont très-amères. Elle se dissout aussi dans l'éther, quoique beaucoup moins que dans l'alcool, surtout à froid. Les huiles fixes ou volatiles la dissolvent également, mais en très-petite quantité. Ces dissolutions sont amères.

La cinchonine, comme substance alcaline, ramène au bleu le papier de tournesol rougi par un acide. Elle s'unit à tous les acides, et paraît former des combinaisons neutres et sans aucune action sur le tournesol avec les acides minéraux les plus énergiques. Elle ne s'unit pas aux corps combustibles, ni à celles de leurs combinaisons avec l'oxigène qui ne sont pas acides.

MM. Pelletier et Caventou ayant ensuite examiné les diverses combinaisons que la cinchonine est susceptible de former, ils ont soumis le quinquina gris à l'analyse,

et ils ont reconnu, en réduisant ce quinquina à n'être plus que du bois, qu'il était composé, savoir :

1° De la cinchonine unie à l'acide kinique.
2° De matière grasse verte.
3° De matière colorante rouge très-peu soluble.
4° De matière colorante rouge soluble (tannin).
5° De matière colorante jaune.
6° De kinate de chaux.
7° De gomme.
8° D'amidon.
9° De ligneux.

MM. Pelletier et Caventou ayant traité cette écorce de la même manière que celle précédente, ils considérèrent d'abord que la substance qu'ils avaient ainsi obtenue ne devait être autre chose que la cinchonine mêlée avec quelque matière étrangère particulière au quinquina jaune; en conséquence tous leurs soins se portèrent sur les moyens de l'en séparer; et c'est en cherchant ainsi à obtenir isolée cette matière amère, qu'ils furent amenés à reconnaître que c'était une substance alcaline particulière et différente de la cinchonine; et pour la distinguer de celle-ci, par un nom qui pût indiquer également son origine, ils crurent devoir lui donner celui de *quinine*. Quinquina jaune.

La quinine n'est pas susceptible de cristalliser. Dans son état de parfaite dessiccation, elle est sous la forme de masse poreuse d'un blanc sale. Sa saveur est très-amère; l'eau bouillante n'en dissout que les 0,005 de son poids, et l'eau froide encore moins.

L'alcool dissout très-facilement la *quinine*, et celle-ci est plus soluble que la cinchonine dans l'éther sulfurique. Elle se dissout aussi, mais en petite quantité, dans les huiles fixes et volatiles. Cette substance n'éprouve aucune altération à l'air, et ne paraît pas même altérer sensiblement l'acide carbonique. Elle se décompose par l'action du feu, et donne, comme la cinchonine, à la distillation à feu nu, les produits des matières végétales non azotées; elle se comporte aussi comme la cinchonine avec le deutoxide de cuivre. La quinine rétablit la couleur bleue du tournesol rougi par un acide. Elle s'unit aux acides, et forme des sels en général moins so-

lubles et plus facilement cristallisables que ceux de cinchonine.

Après avoir examiné les diverses combinaisons de la quinine, MM. Pelletier et Caventou ont soumis à l'analyse le quinquina jaune, et ils ont obtenu pour résultats, savoir :

Du kinate de quinine.
Du rouge cinchonique.
De la matière colorante rouge (tannin).
De la matière grasse.
Du kinate de chaux.
De l'amidon.
Du ligneux.
De la matière colorante jaune.

Quinquina rouge.

MM. Pelletier et Caventou ont obtenu de cette espèce de quinquina, et par le même procédé d'extraction, une matière alcaline en tout semblable à la cinchonine du quinquina gris, mais en quantité trois fois plus forte pour un poids donné des deux écorces; par l'analyse, ils ont trouvé que le quinquina rouge est composé de

Kinate de cinchonine.
Kinate de quinine.
Kinate de chaux.
Rouge cinchonique.
Matière colorante rouge soluble (tannin).
Matière grasse.
Matière colorante jaune.
Ligneux.
Amidon.[1]

Anthemis pyrethrum.

Cette plante, *la pariétaire d'Espagne* ou la camomille pyrèthre, produit dans la bouche, lorsqu'on la mâche, une sensation brûlante, et occasione une salivation abondante. M. Gautier ayant examiné cette plante, dans la vue de reconnaître la nature de la substance qui donne lieu à ces effets, il trouva qu'ils étaient dus à une huile

[1] Annales de chimie et de physique, tome XV, pages 289 et 337.

fixe particulière qui résidait dans l'écorce, et qu'on y apercevait, en regardant de très-près et avec beaucoup d'attention, logée dans de très-petites vésicules. Cette huile de couleur rougeâtre, d'une odeur forte, est insoluble dans l'eau, solide lorsqu'elle est froide, mais se fondant par la chaleur. M. Gautier retira de cent parties de cette espèce de camomille les substances suivantes :

Huile volatile.	traces
Huile fixe.	5
Matière colorante jaune. . .	14
Gomme.	11
Inuline.	33
Ligneux.	35
Chlorure de calcium, traces.	
	98[1]

Du séné.

MM. Lassaigne et Feneulle ont soumis en dernier lieu le séné à un nouvel examen chimique. Celui qui a servi à leurs expériences est l'espèce distinguée dans le commerce par la dénomination de *séné de la palthe* (*cassia acutifolia* de Lamarck). Il a été choisi bien sain, privé des portions de tiges et pétioles, et, autant que possible, séparé des feuilles de cynanchum et autres apocynées avec lesquelles il est toujours mélangé.

En soumettant ce séné à l'analyse, MM. Lassaigne et Feneulle en ont obtenu un produit particulier, qu'ils considèrent comme le principe purgatif du séné ; et en effet ils se sont assurés que ce principe particulier pris à petite dose, purge en donnant de légères coliques ; ce qui les a engagés à le désigner par le nom de *cathartine* du mot français, *cathartique* (purgatif), tiré du grec καθαίρω, je purge. Ce principe est, suivant ces chimistes, au séné, ce que l'émétine est à l'ipécacuanha.

La cathartine est incristallisable, d'un rouge jaunâtre,

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 258 ; *Annals of philosophy*, XIII, 69; Journal de pharmacie, IV, 49; Annales de chimie et de physique, tome VIII, page 101.

ayant une odeur particulière et une saveur amère nauséabonde. Elle se dissout dans l'alcool et dans l'eau en toute proportion, et est insoluble dans l'éther. Son extrait attire l'humidité de l'air.

Sa dissolution aqueuse précipite l'infusion de noix de galle en flocons jaunâtres, le sous-acétate de plomb en flocons de même nuance; l'iode et l'acétate de plomb neutre n'y occasionent point de précipité; le persulfate de fer colore la liqueur en un brun, que la potasse, la soude et l'ammoniaque rendent plus foncé; et le chlore la décolore en la décomposant.

D'après cette analyse, par MM. Lassaigne et Feneulle, les feuilles du *cassia acutifolia* contiennent, savoir :

1° De la chlorophylle.
2° Une huile grasse.
3° Une huile volatile peu abondante.
4° De l'albumine.
5° Un principe purgatif (cathartine).
6° Un principe colorant jaune.
7° Du muqueux.
8° De l'acide malique.
9° Du malate et du tartrate de chaux.
10° De l'acétate de potasse.
11° Sels minéraux.[1]

Du chenopodium olidum.

Cette plante contient, d'après l'examen chimique auquel MM. Lassaigne et Chevallier l'ont soumise, de l'ammoniaque non combinée; et c'est, dans leur opinion, à cet alcali, qu'est due l'odeur particulière de la plante. Ces chimistes en ont retiré, savoir :

Du carbonate d'ammoniaque.
De l'albumine.
De l'osmazome.
Une résine aromatique.
Une matière amère.

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVI, page 16.

Du nitrate de potasse en quantité considérable.
De l'acétate et du phosphate de potasse.
Du tartrate de potasse.
100 parties de la plante donnèrent 5 $\frac{1}{2}$ parties de potasse.[1]

Du mesembryanthemum cristattinum.

On assure que le suc de cette plante est toujours plus froid que l'air environnant. M. le docteur John annonce, qu'étant occupé à faire l'examen de cette plante, le 13 septembre à Berlin, le thermomètre, qui était stationnaire à l'ombre à 12,5 degrés centigrades, ayant été plongé dans la sève de cette plante, s'abaissa à 5 degrés. Il trouva que cette sève consistait dans
Une fois et demie son poids d'eau.
Du ligneux.
De l'extrait.
De la gomme.
De la résine en très-petite quantité.
De l'albumine.
Une poudre verte.
Du nitrate de potasse en quantité considérable.
Du muriate de soude.
Du phosphate de chaux.
Du carbonate de chaux.[2]

Des fleurs.

MM. Lassaigne et Chevallier ayant soumis à l'examen chimique les fleurs de l'*arnica montana*, en ont extrait les substances suivantes, savoir : Fleurs de l'arnica montana.

Une résine ayant l'odeur d'arnica.
Une substance amère nauséabonde ressemblant à la substance émétique, qu'on obtient du cytisus laburnum.
De l'acide gallique.

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, pag. 244; *Annals of philosophy*, XII, 231.
[2] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 245; Chemische Untersuchungen, II, 7.

Une matière colorante jaune.
De l'albumine.
De la gomme.
De l'hydro-chlorate et du phosphate de potasse.
Des traces de sulfate.
Du carbone de chaux.
De la silice.[1]

De la nutrition des plantes.

M. Théodore de Saussure, à qui la physiologie végétale doit des expériences nombreuses et exactes sur les phénomènes de la germination et de la nutrition des plantes, avait démontré, contre l'opinion de quelques naturalistes, que les végétaux ne forment point les différentes substances salines que fournit leur incinération ; et il avait tiré, des résultats qu'il avait obtenus dans ces essais multipliés sur ce sujet important, la conclusion que les alcalis et les terres qu'on trouve dans les plantes sont absorbés du sol. Il observe, en général, que plus les plantes sont isolées du terrain dans lequel elles végètent, moins elles fournissent de sels.

Cependant M. Schrader de Berlin avait publié depuis des expériences qui semblaient prouver le contraire; car il annonçait qu'après avoir fait germer des semences de froment, de seigle et d'orge dans une boîte contenant de la fleur de soufre humectée avec de l'eau distillée, et placée dans un jardin, préservée de la poussière et à l'abri de la pluie, il avait trouvé que les blés qui avaient poussé ainsi contenaient plus de matière terreuse qu'il n'en existait dans les semences qui les avaient produits.

Des expériences faites plusieurs années après sur le même sujet, par M. Braconnot, se trouvèrent être d'accord avec celles de M. Schrader. Mais M. Lassaigne, considérant combien, d'après les connaissances plus précises que nous avons aujourd'hui sur la nature des alcalis et des terres, il serait incompatible d'admettre qu'ils soient un produit de la végétation, crut avoir lieu de se

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 250; *Annals of philosophy*, XVI, 90.

persuader, en examinant attentivement les procédés employés par MM. Schrader et Braconnot, que ces chimistes n'avaient pas pris toutes les précautions que réclament des expériences aussi délicates. M. Lassaigne se détermina en conséquence à entreprendre de nouvelles expériences sur ce sujet.

Après avoir placé, le 2 avril dernier, 10 grammes de semences de sarrasin (polygonum fagopyrum) dans une capsule de platine, contenant de la fleur de soufre lavée, humectée avec de l'eau distillée récemment préparée; il posa cette capsule dans une large assiette de porcelaine, contenant un demi-centimètre d'eau distillée, et recouvrit le tout avec une grande cloche de verre. A la partie supérieure de cette cloche était adapté un robinet qui, au moyen d'un tube de verre recourbé en syphon, et terminé par un entonnoir également de verre, permettait de verser, de temps en temps, de l'eau sur le soufre.

Au bout de trois jours, les graines avaient en plus grande partie germé. On continua de les arroser tous les jours; et dans l'espace d'une quinzaine, elles avaient poussé des tiges de 6 centimètres environ de hauteur, et surmontées de plusieurs feuilles.

Après les avoir rassemblées avec soin, ainsi que plusieurs graines qui n'avaient pas levé, on incinéra le tout dans un creuset de platine. La cendre obtenue pesait 0,220 gram. Soumise à l'analyse, on en retira, savoir :

	grammes.
Phosphate de chaux.	0,190
Carbonate de chaux.	0, 25
Silice	0, 5
Chlorure de potassium.	Traces
. . . . .	0,220

Cette expérience ayant été répétée le 25 avril, avec les mêmes précautions, M. Lassaigne en obtint les mêmes résultats.

10 grammes des mêmes semences de sarrasin, ayant été incinérées, elles donnèrent exactement la même quan-

tité de cendre de même nature. D'où il suit que, pendant le développement de ces graines, il ne s'était pas formé de sels alcalins.

M. Lassaigne conclut de ces expériences, conformément à ce qui avait été déjà démontré par M. de Saussure, que les alcalis et les terres que l'on trouve dans les plantes ne sont pas formés pendant l'acte de la végétation, ainsi que MM. Schrader et Braconnot l'ont annoncé, mais bien qu'ils sont absorbés du sol.[1]

Des semences.

Moutarde.

Les graines du *senapis nigra* sont bien connues par leur saveur fortement piquante, et la propriété qu'elles ont d'agir comme vésicatoire. Cette qualité d'âcreté réside dans une huile jaune, qui peut être distillée avec l'eau. Elle s'abaisse dans ce liquide; et, suivant les expériences de M. Thibierge, elle n'est soluble ni dans l'alcool, ni dans l'éther, mais elle se dissout dans l'eau. Outre cette huile âcre, la moutarde contient une huile fixe, insipide, qu'on peut en séparer par expression. On y découvre également la présence de soufre, d'albumine, de gomme, d'acide phosphorique, de plusieurs phosphates, avec traces de sulfates et d'hydrochlorates.[2]

Des bulbes.

Lathyrus tuberosus.

Cette plante, connue aussi sous le nom de *macjon méguson*, *gland de terre*, *anette*, est l'objet d'une culture particulière en Hollande, où l'on en fait usage comme aliment, M. Braconnot, qui a soumis à l'examen chimique les tubercules du *lathyrus tuberosus*, a trouvé, par l'analyse, pour parties constituantes, sur 500 grammes, savoir :

	grammes.
Eau.	327,98
Amidon.	84,00
Sucre cristallisé, identique avec celui de la canne.	30,00

[1] Note remise par M. Lassaigne.

[2] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 272; *Annals of philosophy*, XVI, 90; John's chemische Untersuchungen, III, 153.

	grammes.
Ci-contre.	441,98
Fibre ligneuse.	25,20
Matière animalisée.	15,»
Albumine.	14,»
Oxalate de chaux.	1,80
Huile rance. . . . . } Matière analogue à l'adipocire. } . . .	0,90
Phosphate de chaux.	0,50
Sulfate de potasse.	0,22
Malate de potasse.	0,20
Phosphate de potasse.	0,10
Muriate de potasse.	0,10
Principe odorant.	»
	500,00 [1]

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, pag. 282; *Annals of philosophy*, XIII, 70; Annales de chimie et de physique, tome VIII, page 241.

SUBSTANCES ANIMALES.

De la gélatine.

Après avoir constaté que toutes les espèces de matières ligneuses, bois, écorce, paille, chanvre, etc., peuvent être transformées en gomme et en sucre par l'acide sulfurique, M. Braconnot a étendu ses recherches sur quelques parties des animaux. Comme plusieurs d'entre elles, telles que la peau, le tissu cellulaire, les membranes, les tendons, les aponévroses, et les cartilages se dissolvent entièrement dans l'eau bouillante et se convertissent en gélatine cette, substance s'est présentée la première à ses essais.

Sucre de gélatine.

Ce sucre, d'une nature toute particulière, s'obtient en faisant bouillir pendant environ cinq heures 1 partie de colle forte, 2 parties d'acide sulfurique concentré, et 8 ou 10 parties d'eau, que l'on renouvelle à mesure qu'elle s'évapore; la liqueur, suffisamment étendue, saturée avec de la craie, fournit un sirop sucré qui dépose des cristaux grenus que l'on purifie par une nouvelle cristallisation. Ce sucre est moins fusible que le sucre de canne, et cristallise beaucoup plus facilement que lui en prismes transparens aplatis, groupés ensemble, souvent tabelliformes. Il ne donne aucune indice de fermentation avec la levure, en quoi il diffère du sucre de bois qui fournit de l'alcool. L'alcool affaibli bouillant n'a aucune action sur lui. Il n'est guère plus soluble dans l'eau que le sucre de lait, avec lequel il semble avoir quelques analogies; mais, traité par l'acide nitrique, il ne donne point d'acide mucique, mais bien un acide nouveau, que M. Braconnot a désigné sous le nom d'*acide nitrosaccharique.*

Acide nitrosaccharique.

En chauffant de l'acide nitrique sur du sucre de gélatine, et en évaporant avec ménagement la dissolution, il ne se manifeste aucune effervescence apparente, et l'on

obtient un résidu qui se prend en une masse cristalline que l'on presse fortement dans du papier gris; par une nouvelle cristallisation on a l'acide nitrosaccharique en beaux prismes, incolores, transparens, aplatis et légèrement striés; le sucre de gélatine peut en donner beaucoup plus que son poids. Sa saveur acide est à peu près semblable à celle de l'acide tartarique. Il ne produit aucun changement dans les dissolutions métalliques ou terreuses. Uni à la potasse, il donne un sur-sel et un sel neutre, qui cristallisent l'un et l'autre en belles aiguilles, lesquelles projetées sur un charbon ardent, détonent à la manière du salpêtre. Avec la chaux il donne aussi un sel détonant en beaux prismes aiguillés, n'attirant point l'humidité de l'air et peu soluble dans l'alcool. Avec l'oxide de cuivre, un sel cristallisable, inaltérable à l'air. Avec la magnésie, un sel déliquescent, cristallisable. Avec l'oxide de plomb, une combinaison qui ressemble à de la gomme. Enfin, cet acide dissout le fer et le zinc avec dégagement de gaz hydrogène, et donne naissance à des sels incristallisables. Il paraît être le résultat de la combinaison de l'acide nitrique avec le sucre de gélatine.

Leucine.

La fibre musculaire, traitée par l'acide sulfurique de la même manière que celle que nous venons d'indiquer pour convertir la gélatine en sucre, ne donne point naissance à du sucre, mais à un extrait d'une saveur très-marquée d'osmazone ou de bouillon; en faisant bouillir cet extrait à plusieurs reprises avec de l'alcool à 34°, il s'y dissout en partie; la portion insoluble est pour la plus grande partie une matière peu animalisée, qui est précipitée médiocrement par l'infusion de noix de galle, et abondamment par le persulfate de fer et le nitrate de mercure. Le liquide alcoolique, chargé de la partie soluble de cet extrait, retient en dissolution une autre matière peu animalisée, et laisse déposer en refroidissant la leucine. La dissolution aqueuse de cette substance évaporée jusqu'à pellicule, donne de petits cristaux grenus mamelonnés d'un blanc mat; mais si on abandonne cette dissolution à l'évaporation spontanée, il se forme à sa surface une multitude de petits cristaux isolés, aplatis, qui ont exactement la forme des moules

de bouton avec un rebord à leur circonférence, et un point ou une dépression à leur centre. La leucine a un goût agréable de jus de viande. Chauffée dans une cornue de verre, elle se fond à une température supérieure à l'eau bouillante, répand une odeur de viande grillée, donne un produit légèrement ammoniacal et se sublime en partie sous la forme de petits cristaux blancs, grenus, opaques. La dissolution de leucine dans l'eau n'est point troublée par le tannin, ni par les dissolutions métalliques, si ce n'est le nitrate de mercure, qui la sépare entièrement de son dissolvant sous la forme d'un précipité blanc floconneux.

Acide nitroleucique.

La leucine se dissout aisément dans l'acide nitrique. Si l'on expose cette dissolution à la chaleur pour en chasser la majeure partie de l'acide nitrique, on remarque qu'il se produit à peine une légère effervescence, mais sans aucune émission de vapeur rutilante; le résidu, exposé à une chaleur douce de bain de sable, se solidifie en une seule masse cristalline, laquelle pressée dans du papier gris et redissoute dans l'eau, a parfaitement cristallisé en fines aiguilles divergentes, presque incolores, c'est l'acide *nitroleucique*. Il forme avec les bases salifiables des sels, qui ont un tout autre arrangement que les nitrosaccharates; sa combinaison avec la chaux, produit un sel inaltérable à l'air, cristallisé en petits groupes arrondis. Ce sel, projeté sur un charbon ardent, se fond dans son eau de cristallisation, et fuse, mais moins rapidement que le nitrosaccharate de chaux. Avec la magnésie, il donne aussi un sel en petits cristaux grenus, n'attirant point l'humidité de l'air. On a vu que le nitrosaccharate de magnésie est déliquescent et incristallisable.

L'acide nitroleucique est encore le résultat de la combinaison de l'acide nitrique avec la leucine.[1]

De l'urée ou néphrine.

M. Thomson observe que le mot *urée* fut très-improprement choisi par Fourcroy, en conséquence de celui

[1] Extrait remis par M. Braconnot.

acide urique, substance également particulière à l'urine, ayant à très-peu près le même nom, ou du moins un nom qui indiquerait un rapport entre les deux substances; tandis, que dans le fait, il n'existe aucune connexion entre elles. M. Thomson considérerait donc comme un très-grand perfectionnement la substitution au mot urée de celui de *néphrine*, dérivé de νεφρὸς, le rein, l'organe, par lequel cette substance est séparée du sang.

M. Thomson indique pour obtenir la néphrine, un procédé dont on est redevable au docteur Prout, et qu'il a répété plusieurs fois avec succès.

Après avoir évaporé jusqu'au quart de son volume de l'urine saine, on la mêle avec environ le tiers de son poids d'acide nitrique, d'une densité de 1,4, et on laisse le mélange en repos pendant 24 heures. Il s'y forme un grand nombre de lames soyeuses, de couleur brune, qui consistent dans de l'acide nitrique et de la néphrine unis ensemble. On dissout dans l'eau ces cristaux, préalablement desséchés entre des doubles de papier joseph, et on ajoute à la dissolution autant de potasse qu'il en faut pour saturer l'acide nitrique. La dissolution concentrée étant abandonnée à elle-même, il s'y dépose des cristaux de nitrate de potasse, qu'on sépare de la liqueur pour l'évaporer ensuite, et faire digérer le liquide résidu dans de l'alcool. Ce liquide dissout la néphrine, et la matière colorante de l'urine; mais en laissant le nitrate de potasse non dissous. Après avoir alors évaporé à siccité la dissolution alcoolique, et fait dissoudre le résidu dans l'eau, on met cette dissolution dans une fiole, en y ajoutant une certaine quantité de noir d'ivoire récemment préparé; et après avoir agité pendant quelque temps, on jette le tout sur un filtre. Le noir d'ivoire sépare toute la matière colorante, et la liqueur qui passe est incolore comme de l'eau. En l'évaporant lentement, on obtient la néphrine à l'état d'une belle substance blanche, demi-transparente, et cristallisée en prismes tétraèdres.

La néphrine, ainsi obtenue, n'a que peu ou point d'odeur. Sa saveur est forte et âcre, ayant de la ressemblance avec celle des sels ammoniacaux. Par son ex-

position à l'air, elle attire l'humidité et se convertit en un liquide épais. Cette substance est extrêmement soluble dans l'eau, et il se produit pendant sa dissolution dans ce liquide un degré de froid considérable. L'alcool la dissout avec facilité, mais à peine en aussi grande proportion que l'eau. La dissolution alcoolique cristallise beaucoup plus facilement par l'évaporation, que la dissolution aqueuse. [1]

De la Cocheniline.

MM. Pelletier et Caventou, qui ont examiné la cochenille, postérieurement au travail du docteur John sur cette substance, ont donné à la matière colorante qu'elle contient, le nom de *carmine;* mais M. Thomson déclare qu'il préfère celui de *cocheniline*, par lequel le docteur John avait cru devoir désigner ce principe; il considère cette dénomination comme plus conforme aux règles de la nomenclature chimique, et moins susceptible d'ambiguité.

Les chimistes français obtinrent la cocheniline à l'état de pureté par le procédé suivant : en faisant digérer la cochenille dans l'alcool, pendant tout aussi long-temps qu'elle colorait ce liquide en rouge, et en abandonnant ensuite cette liqueur alcoolique à elle-même, elle déposait, par l'évaporation spontanée, une matière cristalline d'une belle couleur rouge. Cette matière étant dissoute dans de l'alcool très-fort, et la dissolution mêlée avec son volume d'éther sulfurique, le mélange se troublait, et au bout de quelques jours la cocheniline se déposait en formant au fond du vase une incrustation d'un très-beau rouge pourpre.

La cocheniline ainsi obtenue est d'un rouge pourpre éclatant; elle adhère fortement aux parois du vase où elle s'est déposée; elle a un aspect grenu, comme si elle était composée de cristaux; elle ne s'altère pas à l'air et n'en attire pas sensiblement l'humidité; chauffée à 50 degrés centigrades, elle se fond; à une température plus élevée, elle se boursoufle et se décompose en abandon-

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 419.

nant du gaz hydrogène carboné, fournissant beaucoup d'huile et une petite quantité d'eau d'une saveur légèrement acide. Il n'y a pas de trace d'ammoniaque dans les produits.

La cocheniline est très-soluble dans l'eau. La dissolution peut être réduite par l'évaporation en consistance de sirop; mais elle ne cristallise point. La cocheniline, en se dissolvant dans l'eau, colore ce liquide en un beau rouge carmin. Il ne faut qu'une très-petite portion de cette substance pour donner une couleur très-prononcée à une grande quantité d'eau. Elle se dissout aussi dans l'alcool; mais plus ce liquide est rectifié, moins sa faculté dissolvante est forte. L'éther sulfurique ne dissout point la cochenille; les acides faibles la dissolvent; mais il est probable que c'est seulement à raison de l'eau qu'ils contiennent. Aucun acide ne la précipite lorsqu'elle est pure; mais cet effet est produit par presque tous les acides, lorsqu'elle est à l'état de combinaison avec la matière animale particulière de la cochenille. Cependant si les acides ne précipitent pas la cocheniline à l'état de pureté, ils produisent tous un changement sensible sur sa dissolution aqueuse. Ils la font passer d'abord au rouge vif, puis elle acquiert par degrés une teinte jaunâtre, et finit par devenir entièrement jaune. Lorsque les acides ne sont pas très-concentrés, la cocheniline n'est pas altérée dans sa nature; car en saturant l'acide la couleur primitive est rétablie.

L'acide sulfurique concentré détruit et charbonne la cocheniline. L'acide hydrochlorique la décompose sans la charbonner, et il la convertit en une substance amère, qui n'a plus aucune ressemblance avec la cocheniline. L'action de l'acide nitrique, en décomposant cette substance, est encore plus rapide; il se produit quelques cristaux en aiguilles, ressemblant dans leur aspect à de l'acide oxalique; mais ces cristaux ne précipitent pas l'eau de chaux, lors même qu'elle est mêlée avec de l'ammoniaque. La nature de ces cristaux ne fut pas déterminée.

Le chlore agit avec énergie sur la cocheniline; il fait passer sa couleur au jaune, et par degrés il la détruit tout-à-fait. Il ne produit pas de précipité dans la dissolu-

tion aqueuse de cocheniline, si elle ne contient pas de matière animale. Le chlore est donc un réactif utile pour découvrir la présence de matière animale dans ce principe colorant. L'action de l'iode est la même que celle du chlore, mais son effet est moins rapide.

Les alcalis versés dans une dissolution de cocheniline font virer sa couleur au violet cramoisi. Si l'alcali est immédiatement saturé, la couleur primitive est rétablie; et, par conséquent, la cocheniline reste sans avoir éprouvé d'altération, ou au moins n'ayant été que légèrement modifiée; mais si l'action de l'alcali est continuée, ou si elle est augmentée par l'application de la chaleur, la couleur violette se dissipe, le liquide devient d'abord rouge, puis jaune, et alors la nature de la matière colorante est complétement altérée.

L'eau de chaux produit, dans la dissolution aqueuse de cocheniline, un précipité coloré en violet; la baryte et la strontiane n'occasionent pas de précipité, mais ils donnent lieu au même changement de couleur que les alcalis. L'alumine a une affinité très-forte pour la cocheniline. De l'alumine nouvellement précipitée, ajoutée à une dissolution aqueuse de cocheniline, la décolore totalement, et l'alumine est convertie en une laque d'un très-beau rouge. Si, avant d'ajouter l'alumine à la dissolution aqueuse, on y verse quelques gouttes d'un acide, la laque qu'on obtient est d'une belle couleur rouge comme précédemment, mais par la moindre chaleur elle passe au violet. Le même effet est produit par l'addition à la liqueur de quelques grammes d'un sel alumineux.

La plupart des dissolutions salines altèrent la dissolution aqueuse de cocheniline, mais il en est peu qui soient capables d'y produire un précipité. Les sels d'or en altèrent seulement la couleur; le nitrate d'argent n'y produit aucun changement. Les sels de plomb solubles font passer la couleur au violet, et l'acétate de plomb détermine sur-le-champ un précipité violet abondant; en décomposant ce précipité, au moyen d'un courant de gaz hydrogène sulfuré, on peut obtenir la cocheniline dissoute dans l'eau à l'état de pureté.

Le protonitrate de mercure produit dans la dissolution

aqueuse de cocheniline un précipité violet. L'action du pernitrate de mercure est moins énergique, et la couleur du précipité est écarlate. Le perchlorure de mercure ne produit aucun effet quelconque.

Les sels de cuivre et de fer n'occasionent point de précipité; mais les premiers font tourner la couleur du liquide au violet, et les sels de fer au brun.

L'hydrochlorate de protoxide d'étain produit dans la liqueur un précipité violet abondant. L'hydrochlorate du peroxide de ce métal fait passer la liqueur à l'écarlate, mais sans occasioner de précipité; si alors on ajoute de l'alumine en gelée, on obtient un précipité d'un beau rouge, qui n'est point altéré par l'ébullition.

Aucun des sels alumineux ne donne lieu à précipité dans la dissolution aqueuse de la cocheniline, mais ils font passer la couleur au cramoisi.

Les sels de potasse, de soude et d'ammoniaque y produisent les mêmes changemens.

MM. Pelletier et Caventou ont cru devoir conclure de l'action des différens sels sur la cocheniline, que les métaux susceptibles de différens degrés d'oxigénation, agissent sur la matière colorante de la cochenille, comme les acides, lorsqu'ils sont au *maximum* d'oxidation; mais comme alcalis, quand ils sont au *minimum* ou au *medium* d'oxidation; et que cette influence alcaline peut s'exercer à la manière d'un acide, lorsque les oxides dont il s'agit peuvent produire un précipité insoluble avec la matière colorante.

Le tannin et les matières astringentes en général ne précipitent pas la matière colorante de la cochenille.

MM. Pelletier et Caventou ayant mêlé une certaine quantité de matière colorante avec de l'oxide noir de cuivre, et soumis le mélange au degré de chaleur nécessaire, ils n'obtinrent d'autre substance gazeuse que de l'acide carbonique; d'où il suit que la cocheniline est composée de carbone, d'oxigène et d'hydrogène, et qu'elle ne contient pas d'azote.[1]

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 427; Annales de chimie et de physique, tome VIII, page 250.

Des Huiles.

Huile de baleine.

L'huile de baleine entre en ébullition à la température de 338 degrés centigrades ; si on la distille, elle perd beaucoup de sa viscosité et acquiert la propriété de bouillir lorsqu'elle est chauffée à 210 degrés centigrades. En faisant passer cette huile à travers un tuyau de fer rempli de fragmens de brique pilée chauffés au rouge, elle est convertie en une huile éminemment volatile, qui bout à 82° centigrades et brûle aussi facilement que l'éther. Cette huile, limpide et incolore, très-fluide, et d'une odeur forte, est connue en chimie sous le nom d'huile de Dippel, de celui du chimiste qui en trouva le premier le mode de préparation. M. Thomson annonce, que d'après ses expériences, les parties constituantes de l'huile de baleine sont ainsi qu'il suit :

Un grain (6,5 gram.) de cette huile, qu'on fait passer à travers du peroxide de cuivre chauffé au rouge, se convertit en 88,877 centimètres cubes de gaz acide carbonique, et 9,425 grammes d'eau. Or,

	gram.
Le poids du carbone dans cette quantité d'eau est de.	= 4,476
Celui de l'hydrogène dans cette même quantité d'eau.	= 1,046
Oxigène pour compléter les 6,5 grammes.	= 0,978
Total.	= 6,500

	grammes.			
Mais	4,476 de carbone	= 6 volumes, ou 12 atomes	=	9,000
	1,056 d'hydrogène	= 8,5 volumes, ou 17 atomes	=	2,125
	0,978 d'oxigène. .	= 0,5 volumes, ou 2 atomes	=	2,000
		Poids d'un atome d'huile de baleine	=	13,125

ou un multiple de ce nombre. D'après les expériences de M. Chevreul sur le savon, il est probable que le véritable poids d'un atome d'huile de baleine est de trois fois le nombre précédent.

La pesanteur spécifique de l'huile de baleine est réduite par la distillation, de 0,9191, qui est celle de l'huile de baleine commune, à 0,8680, en faisant passer

6,5 grammes de cette huile distillée à travers du peroxide de cuivre chauffé au rouge ; cette quantité est transformée en 90,695 centimètres cubes de gaz acide carbonique et 8,45 grammes d'eau ; d'où il suit que les parties constituantes de cette huile sont :

Carbone..	4,563, ou 12 volumes, ou 13 atomes =	9,000
Hydrogène	0,946, ou 15 volumes, ou 15 atomes =	1,875
Oxigène. .	0,991, ou volume, ou 2 atomes =	2,000
	6,500	12,875

Ainsi cette huile semble n'avoir perdu que deux atomes d'hydrogène.

La chaleur spécifique de l'huile de baleine est 0,5302. Lorsqu'elle est chauffée de 15 à 232 degrés centigrades dans du verre, elle se dilate de $\frac{1}{5,55}$ en ne tenant pas compte de la dilatation du verre.[1]

De la soie.

Si l'on humecte légèrement de la soie avec de l'acide sulfurique, et qu'après l'avoir laissé agir pendant quelques minutes, on broie le tout avec de l'eau, il en résulte un mucilage blanc très-épais qu'on peut laver avec de l'eau froide qui n'agit pas sensiblement sur lui, quoiqu'une très-grande quantité de ce liquide bouillant peut le dissoudre. Cette matière mucilagineuse qui paraît être la soie elle-même très-rapprochée de son état primitif de mucilage, ne sèche pas aussi rapidement que celle qui se trouve dans la chenille du ver à soie, et avec laquelle, au rapport de Réaumur, les Mexicains préparent leur admirable vernis. Si au lieu de faire agir une petite quantité d'acide sulfurique sur la soie, on en augmente la dose en prolongeant l'action pendant vingt-quatre heures, elle se convertit en une matière rougeâtre, transparente, très-soluble dans l'eau, qui ressemble à la colle forte, quoique sa dissolution concentrée ne se prenne point en gelée par le refroidissement. Cette matière animale est précipitée abondamment de son dis- Transformation de la soie en mucilage.

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 432.

solvant par l'infusion de noix de galle et surtout par le sous-acétate de plomb.

On voit que toutes les fois que l'acide sulfurique concentré tombe sur un vêtement d'étoffe de soie ou de coton, il ne le brûle pas comme on le dit; mais la partie qu'il touche est bientôt perforée par sa conversion en mucilage.[1]

De la laine.

Conversion de la laine en leucine et en d'autres substances de nouvelle formation.

L'acide sulfurique étendu du quart de son poids d'eau, mélangé avec la laine lui communique une couleur rouge sans qu'elle se ramollisse sensiblement; mais si on expose le mélange à la température de l'eau bouillante, il en résulte un mucilage épais, homogène; en arrêtant là l'opération, on peut séparer, par la saturation avec la craie, une matière animalisée, soluble dans l'eau, ayant absolument l'aspect de la colle forte, et d'une saveur désagréable; l'infusion de noix de galle, versée dans sa dissolution, dans l'eau, la précipite entièrement; le précipité est blanchâtre, floconneux, divisé, et ne se réunit nullement en une masse élastique et collante comme celui formé dans la dissolution de gélatine. Le nitrate de plomb en trouble à peine la transparence; mais le sous-acétate de plomb et le nitrate de mercure, y forment des précipités blancs fort abondans. Le persulfate de fer coagule entièrement la dissolution de cette matière en une masse d'un rouge orangé, précisément comme celle qui est produite par le même réactif dans une dissolution de gélatine. L'alcool bouillant n'a presque aucune action sur cette matière qui diffère de celles qui ont été indiquées précédemment. Si au lieu de séparer la matière animale du mucilage acide épais dont on vient de parler, on prolonge un peu l'action de la chaleur, il perd entièrement son aspect mucilagineux; étendu d'eau et mis en ébullition pendant neuf heures, il donne pour résultat, de la leucine, une matière peu animalisée soluble dans l'alcool, et une autre substance insoluble dans ce liquide qui a le même goût de bouillon et des propriétés semblables à

[1] Extrait remis par M. Braconnot.

celle qui a été produite avec la fibrine dans les mêmes circonstances. On voit par ce qui précède que les substances animales les plus insolubles, peuvent être transformées en plusieurs substances solubles, beaucoup moins azotées, par l'acide sulfurique. Cette singulière transformation est opérée par une soustraction d'hydrogène et d'azote dans les proportions nécessaires pour produire l'ammoniaque, et sans doute aussi par une absorption d'oxigène de l'acide sulfurique. [1]

De la bile.

MM. Lassaigne et Chevallier ont fait l'examen chimique et l'analyse de la *bile du coaïta fauve*, ateles-arachnoïdes (Geoffroy), et de la *bile du couguar*, felis discolor (Buffon).

La bile du coaïta fauve, était jaune, d'une consistance visqueuse, ayant une odeur fade et une saveur amère; elle ne faisait éprouver aucun changement au papier de tournesol, ni au sirop de violette. Cette bile contient, d'après l'analyse,

1° De l'albumine.
2° De la matière colorante jaune.
3° De la résine verte.
4° Du picromel.
5° Des muriates de potasse et de soude.
6° Du phosphate de soude.
7° Des traces de phosphate de chaux.

La bile du couguar était d'un jaune rougeâtre; sa saveur, d'abord douce, devenait légèrement amère; elle ne faisait pas passer au bleu le papier de tournesol, rougi par les acides; elle moussait par l'agitation.

La petite quantité que MM. Lassaigne et Chevallier purent se procurer de cette bile ne leur permit pas d'examiner quels étaient les sels qui s'y trouvaient, mais ils avaient reconnu qu'elle contenait :

1° De l'albumine.
2° De la matière jaune.

---

[1] Extrait remis par M. Braconnot.

3° De la résine verte.
4° Du picromel. [1]

De la liqueur de l'amnios.

M. Lassaigne a fait, sur la composition des eaux de l'allantoïde et de l'amnios de la vache, de nouvelles recherches qui l'ont conduit à des résultats importans, qu'il expose ainsi qu'il suit :

Le fœtus, dans la matrice, est enveloppé dans plusieurs membranes successives particulières, auxquelles les anatomistes ont donné différens noms. La première, la plus extérieure, est appelée *chorion;* au-dessous de celle-ci s'en trouve une autre, très-apparente surtout dans les quadrupèdes, qui a reçu le nom d'*allantoïde*, enfin, la troisième, la plus interne qui environne le fœtus, est l'*amnios.*

Ces deux dernières renferment des liqueurs différentes dont la quantité et la nature varient suivant l'époque de la gestation de l'animal, et son espèce.

La liqueur amniotique de la femme, avait déjà été analysée par MM. Vauquelin et Buniva, comparativement avec celle de la vache; mais dans celle-ci, ils ont trouvé un acide cristallisable, jouissant de propriétés particulières, qu'ils ont appelé *acide amniotique*, du nom de la liqueur d'où ils l'ont retiré. Comme dans leur travail ils n'ont pas fait mention de la liqueur de l'allantoïde, qui souvent est en plus grande quantité que celle de l'amnios; il est vraisemblable qu'ils l'auront confondue avec cette dernière, ou qu'ils auront examiné le mélange des deux.

M. Girard, directeur de l'école royale vétérinaire d'Alfort, dans ses recherches anatomiques sur le fœtus de la vache, s'étant procuré séparément les eaux de l'allantoïde et de l'amnios, les remit à M. Lassaigne pour les soumettre à une nouvelle analyse chimique. Les résultats que celui-ci obtint prouvent non-seulement la différence de composition de ces deux eaux, mais encore que l'acide appelé jusqu'à présent *amniotique* n'existe

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 512; *Annals of philosophy*, XIV, 146; Annales de chimie et de physique, t. XI, p. 104 et 106.

point dans la liqueur contenue dans l'amnios, mais bien dans celle de l'allantoïde.

Eau de l'allantoïde de la vache.

Cette liqueur est transparente, d'une couleur jaune-fauve, d'une saveur fade légèrement salée; sa pesanteur spécifique, à 15° centigrades, est de 1,072; elle rougit le papier de tournesol. Soumise à l'analyse, elle a donné :

1° De l'albumine.
2° De l'osmazome en assez grande quantité.
3° Une matière mucilagineuse azotée.
4° Un acide cristallisable, jouissant de toutes les propriétés de l'acide amniotique désigné par MM. Vauquelin et Buniva
5° De l'acide lactique et lactate de soude.
6° De l'hydrochlorate d'ammoniaque.
7° Du chlorure de sodium.
8° Du sulfate de soude en grande quantité.
9° Du phosphate de soude.
10° Du phosphate de chaux et de magnésie.

Eau de l'amnios de la vache.

Cette liqueur est jaunâtre, visqueuse, d'une saveur salée et piquante; par le repos, il s'en sépare une matière analogue au mucus; elle bleuit le papier de tournesol rougi; examinée par la même méthode que la précédente, elle a fourni :

1° De l'albumine.
2° Du mucus.
3° Une matière jaune analogue à celle de la bile.
4° Du chlorure de sodium.
5° Du chlorure de potassium.
6° Du sous-carbonate de soude.
7° Du phosphate de chaux.

Ces résultats obtenus plusieurs fois sur des fœtus de 5, 6 et 8 mois, prouvent : 1° que l'acide appelé amniotique n'existe pas dans l'eau de l'amnios, mais dans celle de l'allantoïde; 2° qu'il est probable que MM. Vauquelin et Buniva ont opéré sur l'eau de l'allantoïde qui leur aura été remise comme étant celle de l'amnios, ou encore que leur travail aura été fait sur le mélange de ces deux eaux; en conséquence, M. Lassaigne pense,

qu'en le distinguant des autres acides connus par le nom d'acide allantoïque, il remplira le but des auteurs de sa découverte.

M. Lassaigne ayant eu à sa disposition une certaine quantité de cet acide, provenant des analyses précédentes, crut devoir saisir cette occasion pour examiner quelques-unes de ses combinaisons, déterminer le rapport de ses principes constituans, et ajouter ainsi aux propriétés qui lui ont été reconnues premièrement par MM. Vauquelin et Buniva. (*Annales de chimie*, tome 33, page 275.)

Propriétés de l'acide allantoïque.

1° Il cristallise en prismes carrés d'un blanc nacré; il est insipide et inaltérable à l'air.

2° Chauffé dans une petite cornue, il se décompose en fournissant beaucoup de sous-carbonate d'ammoniaque, de l'hydrocyanate de la même base, de l'huile et un charbon très-léger qui brûle sans laisser de résidu.

3° L'eau, à la température ordinaire, en dissout $\frac{1}{400}$ de son poids; l'eau bouillante en dissout $\frac{1}{30}$, la dissolution rougit la teinture de tournesol; par son refroidissement, elle laisse précipiter presque en totalité cet acide sous forme de belles aiguilles prismatiques divergentes.

4° Sa dissolution aqueuse ne précipite ni la chaux, ni la baryte, ni la strontiane, ainsi que les dissolutions de nitrate d'argent, de mercure, d'acétate et de sous-acétate de plomb.

5° Traité par l'acide nitrique bouillant, il est converti en une matière jaune, gommeuse et acide, qui n'est nullement amère.

6° Calciné dans un appareil convenable avec le deutoxide de cuivre, il a donné, pour le rapport de ses élémens en poids:

Oxigène.	32,»
Carbone.	28,15
Azote.	25,24
Hydrogène.	14,50
	99,89

Les combinaisons de l'acide allantoïque avec les

oxides, que M. Lassaigne croit devoir appeler allantates, sont toutes solubles; les seules qu'il a examinées particulièrement sont les allantates de potasse, de baryte et de plomb.

L'allantate de potasse, obtenu directement, cristallise en belles aiguilles soyeuses; il est soluble dans 15 parties d'eau environ; sa dissolution est décomposée par tous les acides minéraux qui en précipitent l'acide allantoïque en poussière fine.

L'allantate de baryte cristallise en aiguilles prismatiques. Il a une saveur âcre comme tous les sels de baryte, il est plus soluble que celui de potasse; décomposé par l'acide sulfurique, il a donné 0,20 de sulfate de baryte pour 100 parties de sel; d'où il suit qu'il est formé de :

Acide.	86,8	100
Baryte.	13,2	15,2
	100,0	

L'allantate de plomb est cristallisable; il a une saveur douceâtre et styptique; il est composé de

Acide.	100
Protoxide de plomb.	24

Eaux de l'allantoïde et de l'amnios de la jument.

Ces liqueurs, analysées par le même procédé que celles de vache, ont fourni :

Eau de l'allantoïde.	*Eau de l'amnios.*
1° Albumine.	1° Mucus.
2° Osmazome.	2° Albumine.
3° Matière mucilagineuse.	3° Matière jaune.
4° Acide lactique.	4° Osmazome en petite quantité.
5° Chlorure de sodium.	5° Chlorure de sodium.
6° Chlorure de potassium.	6° Chlorure de potassium.
7° Sulfate de potasse.	7° Soude.
8° Phosphate de chaux et de magnésie.	8° Phosphate de chaux.

Ces eaux sont différentes, comme on le voit, de celles de la vache; en effet, l'eau de l'allantoïde de la jument ne renferme pas d'acide allantoïque; et au lieu de sulfate de soude que contient celle de la vache, c'est du sulfate de potasse. La présence de l'osma-

zome dans l'eau de l'amnios de la jument n'est pas moins remarquable.

M. Lassaigne a joint, à la suite de ce travail, l'examen de quelques substances particulières au fœtus de la vache, pour démontrer, contre l'opinion de quelques physiologistes, que la membrane allantoïque ne pouvait pas être considérée comme un vaste réservoir destiné à renfermer l'urine du jeune sujet, puisque la liqueur contenue dans sa vessie est différente par sa composition.

Bile du fœtus de vache.

1° Matière verte résineuse.
2° Matière jaune.
3° Mucus.
4° Sels { Chlorure de sodium. S.-carbonate de soude. Phosphate de chaux.

Urine du fœtus de vache.

1° Mucus en grande quantité.
2° Matière animale incristallisable.
3° Chlorure de sodium.
4° Chlorure de potassium.
5° Sulfate de potasse.
6° Acide lactique.

Méconium du fœtus de vache.

1° Mucus en grande quantité.
2° Matière verte } analogues à celle de la bile.
3° Matière jaune }
4° Sels { Chlorure de sodium. Sous-carbonate de soude. Phosphate de chaux.[1]

De l'urine.

M. Lassaigne a examiné l'urine de la truie. Cette urine est transparente, légèrement jaune, inodore et d'une saveur désagréable, mais qui n'est pas salée. Elle contenait, savoir :

De l'urée (néphrine).
De l'hydrochlorate d'ammoniaque.
De l'hydrochlorate de potasse.
De l'hydrochlorate de soude.
Du sulfate de potasse.
Un peu de sulfate de soude.
Des traces de sulfate et de carbonate de chaux.[2]

---

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVII, page 295.
[2] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 552; *Annals of philosophy*. XIV, 146.

Les docteurs Prout et John Davy ont examiné l'urine de plusieurs animaux amphibies. Le docteur Prout reconnut que l'urine du boa devin (*boa constrictor*), était presque entièrement composée d'acide urique. Le docteur John Davy observa que l'urine de différentes espèces de serpens, de consistance bitureuse lorsqu'elle est évacuée, devenait tout-à-fait dure par son exposition à l'air. Cette urine était toujours de l'acide urique presque pur. L'urine des lézards consiste également dans de l'acide urique à peu près pur. Celle du crocodile (*alligator*) contient, outre l'acide urique, une grande portion de carbonate et de phosphate de chaux. L'urine des tortues est un liquide avec flocons d'acide urique, et tenant en dissolution un peu de mucus et de muriate de soude; mais pas sensiblement d'urée.[1]

Le docteur John Davy avait déjà reconnu que l'urine des grenouilles présentait seule une exception dans la composition de celle des animaux de la classe des amphibies consistant presque entièrement en acide urique. Ayant recherché depuis à reconnaître la nature particulière de cette urine, il entreprit, dans cette vue, à l'île de Ceylan, des recherches sur la grenouille taureau (*rana taurina*. Cuv.) et sur le crapeau brun (*bufo fuscus*. Laurenti), espèces qui l'une et l'autre, y sont communes. Il fit d'abord ses essais sur environ 20 grammes d'urine de la grenouille taureau, recueillie de trente-six de ces grenouilles de diverses grandeurs. Cette urine, ressemblant à de l'eau, était presque transparente, insipide, et d'une odeur ayant quelque chose d'analogue à celle du sérum du sang. Sa pesanteur spécifique était de 1003. Cette urine était sans action sur les papiers de tournesol et de curcuma; évaporée lentement, elle fournit, en petite quantité, un extrait brunâtre, ayant l'odeur d'urée. Cet extrait, exposé à l'air, tomba en déliquescence; et, soumis à la chaleur dans un petit tube de verre, il produisit un liquide huileux de couleur ambrée, et d'épaisses fumées ammoniacales. Le charbon restant

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 552; *Annals of philosophy*, XIII, 209.

contenait une grande proportion de sel commun, et un peu de phosphate de chaux.

Examinant ensuite l'urine du crapaud brun, le docteur John Davy opéra sur environ 47 grammes de cette urine, recueillie de 84 crapauds. Ce liquide frais eût présenté une transparence parfaite sans quelques petits flocons légers qui y étaient en suspension. Il était d'un jaune paille clair, comme l'urine de l'homme à l'état de santé; il en avait l'odeur et à peu près la saveur, quoique à un degré beaucoup plus faible. Sa pesanteur spécifique était 1008. Cette urine ne changea point les papiers réactifs; par une évaporation lente, elle fournit un extrait brun, d'une odeur fortement urineuse. En versant une goutte d'acide nitrique sur une portion de cet extrait réduit en consistance sirupeuse, l'effet produit fut le même que si l'on avait opéré sur de l'urine humaine; il se forma sur-le-champ un composé cristallin, qui était évidemment du nitrate d'urée.

Le docteur John Davy croit pouvoir conclure des résultats de ces expériences, que les urines de la grenouille taureau et du crapaud brun, contiennent de l'urée, et cette dernière particulièrement en grande quantité; il lui paraît, en outre, probable, par analogie, que l'urine des grenouilles et des crapauds, en général, est d'une semblable nature, et qu'ainsi cette urine diffère entièrement de celle des autres amphibies. [1]

Des concrétions morbifiques.

Concrétions salivaires.

M. Lassaigne examina une concrétion salivaire provenant d'une vache. Cette concrétion, de la grosseur environ d'un œuf de pigeon, était blanche, très-dure, susceptible de prendre le poli, et elle avait pour noyau un grain d'avoine. Elle consistait dans du carbonate de chaux, mêlé avec un peu de phosphate de chaux, et de matière animale. Mais une concrétion salivaire provenant d'un cheval, examinée par le même chimiste, se trouva être d'une nature tout-à-fait différente. Cette concrétion était blanche, molle, élastique, et ayant

[1] Annales de chimie et de physique, tome XVIII, page 107.

exactement la forme du canal où elle était logée. L'eau froide en sépara un peu d'albumine avec du carbonate et de l'hydrochlorate de soude. Elle se dissolvait aisément dans des lessives alcalines, et brûlait à la manière de la corne; d'où il semble résulter qu'elle consistait principalement dans une substance jouissant des propriétés de l'albumine coagulée. [1]

Urate d'ammoniaque.

L'existence de calculs, formés d'*urate d'ammoniaque*, fut annoncée par Fourcroy; mais il présenta ce fait comme une circonstance rare. M. Brande, qui ne rencontra cet urate dans aucun des calculs qu'il examina, crut pouvoir en nier la présence dans des calculs, et son opinion, à cet égard, a été généralement adoptée par les chimistes anglais. Mais le docteur Prout a dernièrement trouvé un calcul, extrait d'un enfant d'environ deux ans, composé d'urate d'ammoniaque. Ce calcul, de couleur verdâtre, était formé de couches concentriques; il ne se dissolvait point dans l'eau. Traité avec les alcalis fixes, il fournissait de l'ammoniaque en abondance, et décrépitait fortement au chalumeau. Ce calcul donnait lieu à une grande irritation. [2]

POST-SCRIPTUM.

Action chimique de la lumière.

Dans l'exposé de ses recherches sur la lumière, M. Fresnel avait observé, ainsi qu'on a pu le voir, page 136 de ce volume, ce qui suit : En adoptant le système des ondulations, le seul qui puisse se concilier avec les phénomènes de la diffraction, on ne pouvait pas considérer l'action chimique de la lumière, comme résultant d'une combinaison des molécules lumineuses avec les corps, puisque, d'après cette théorie, l'intensité de la lumière ne tient plus à l'abondance du fluide lumineux, mais à la vivacité de ses vibrations. Il en résulte évidemment, que l'action chimique de la lumière doit consister dans une action mécanique de l'éther sur les

---

[1] 6e édition de Thomson, vol. IV, page 561; *Annals of philosophy*, XIII, 75.

[2] 6e édition de Thomson, tome IV, page 570; *Annals of philosophy*, XV, 436.

molécules des corps, qu'il environne de toutes parts, et qu'il oblige à de nouveaux arrangemens d'équilibre, à de nouvelles combinaisons plus stables, quand les vibrations augmentent d'énergie. On conçoit que la nature des vibrations doit influer sur les effets chimiques qu'elles produisent.

M. Arago vient de confirmer, par une expérience très-intéressante,[1] cette opinion de M. Fresnel, et démontrer ainsi directement que l'action chimique de la lumière ne peut être attribuée à une combinaison de ses molécules avec celle des corps.

Expérience. En faisant tomber sur du muriate d'argent, fraîchement préparé, les franges produites par l'interférence de deux faisceaux réfléchis sur deux miroirs légèrement inclinés entre eux, M. Arago a reconnu qu'elles y traçaient des lignes noires, également espacées et séparées par des intervalles blancs; ce qui prouve que l'influence chimique des rayons lumineux est modifiée par leur interférence comme leurs propriétés optiques, et qu'elle varie d'intensité selon la différence des chemins parcourus. Quand cette différence est égale à un nombre entier d'ondulation, les deux systèmes d'ondes sont en accord parfait, et leurs vibrations ont le plus d'énergie possible; c'est alors que leurs effets chimiques doivent atteindre leur *maximum;* au contraire, dans les points où la différence des chemins parcourus, est un nombre impair de demi-ondulation, la discordance étant complète, les effets chimiques doivent être nuls, comme la sensation de lumière que les mêmes points produisent sur l'œil; c'est aussi ce que confirme l'expérience. Il faut seulement remarquer que les rayons violets extrêmes étant ceux qui ont le plus d'action chimique, les lignes noires tracées sur le muriate d'argent ne doivent pas correspondre aux bandes les plus brillantes des franges produites par la lumière blanche, qui répondent à peu près aux points d'accord parfait des rayons jaunes.

[1] L'impression de ce volume était déjà avancée lorsque cette expérience de M. Arago a été connue. Son objet est d'un si grand intérêt, et le fait qu'elle établit si important pour la science de la chimie, qu'on a cru devoir la présenter ici par addition à l'article de la lumière qui commence ce supplément. R.

Cette expérience fournit un moyen simple et très-exact de déterminer la longueur moyenne des ondulations lumineuses qui ont le plus d'influence chimique ; car il suffit pour cela de mesurer les intervalles compris entre les milieux des lignes noires tracées sur le muriate d'argent, et d'en conclure, par la formule que nous avons donnée, la longueur des ondulations qui les produisent.

En faisant tomber sur du muriate d'argent la lumière modifiée par le phénomène des anneaux colorés, M. Young a montré depuis long-temps que les mêmes modifications se soutenaient dans son action chimique ; mais l'expérience de M. Arago a sur la sienne l'avantage de prouver directement que l'inégale action de la lumière aux différens points de l'espace où les deux faisceaux se réunissent tient à leur influence mutuelle, puisqu'en soustrayant un des faisceaux, on voit le muriate d'argent prendre une teinte uniforme dans le même espace où se formaient des lignes alternativement noires et blanches, quand les deux faisceaux y arrivaient simultanément ; tandis que dans l'expérience de M. Young, faite au moyen des anneaux colorés, il était impossible de séparer les deux systèmes d'ondes. On peut démontrer aussi par l'expérience de M. Arago, que dans les points qui répondent à des différences de chemins parcourus égales à un nombre impair de demi-ondulations, l'action chimique de la lumière est insensible lorsque les deux faisceaux réfléchis y arrivent ensemble, tandis qu'elle reparaît quand on soustrait un des faisceaux. On voit que ce fait, *indépendamment de toute théorie*, renverse l'hypothèse adoptée par plusieurs savans, d'après laquelle les effets chimiques de la lumière résulteraient de sa combinaison avec les corps ; car, s'il en était ainsi, il y aurait toujours d'autant plus d'effet produit que la quantité de molécules lumineuses serait plus considérable, et l'on ne devrait, dans aucun cas, augmenter l'action chimique de la lumière en soustrayant une partie des rayons incidens.

L'expérience de M. Arago renferme encore un fait remarquable qui ne se trouvait pas dans celle de M. Young, où les rayons qui interfèrent sont parallèles, et ne se quittent plus après leur réunion ; c'est que les deux fais-

ceaux réfléchis par les miroirs formant entre eux un angle sensible, il arrive que les mêmes rayons qui perdent dans un point leurs propriétés lumineuses et chimiques par leur discordance complète avec ceux qu'ils y rencontrent, se trouvant un peu plus loin dans des circonstances différentes, recouvrent ces propriétés; ce qui montre, comme l'observe M. Arago, qu'elles n'étaient pas détruites en eux, mais seulement neutralisées momentanément là où des mouvemens en sens opposé contre-balançaient leurs vibrations. On concevra aisément ce jeu d'interférences à l'aide de la figure 1re, page 51.

L'expérience de M. Arago exige plusieurs précautions pour être répétée avec succès. Il faut d'abord que les rayons solaires réfléchis dans la chambre obscure soient maintenus dans une direction constante par un bon héliostat, afin que les franges qui se projettent sur la surface enduite de muriate d'argent n'éprouvent pas de déplacement sensible, au moins pendant dix minutes; et pour que les très-petits déplacemens qu'elles pourraient encore éprouver pendant cet intervalle de temps ne nuisent pas à la netteté des lignes noires qu'elles impriment peu à peu sur le muriate d'argent, il est bon de donner aux franges le plus de largeur possible, en dirigeant les surfaces des deux miroirs presque sur le prolongement l'une de l'autre. Au lieu de placer une lentille sphérique dans le volet de la chambre obscure, pour former un point lumineux, ce qui donnerait une lumière beaucoup trop faible, il faut se servir d'une lentille cylindrique, moyen précieux d'augmenter considérablement l'intensité de la lumière; mais comme on produit ainsi une ligne lumineuse au lieu d'un point, il est indispensable de la tourner dans une direction bien exactement parallèle à celle des franges, ainsi que nous l'avons déjà dit, en indiquant ce procédé ingénieux imaginé par M. Arago: on reconnaît aisément à la netteté des franges quand cette condition est remplie. La lentille cylindrique employée dans l'expérience que nous venons de rapporter avait un centimètre de foyer; les deux miroirs métalliques n'en étaient guère éloignés que de soixante centimètres, et la plaque enduite de

muriate d'argent était à peu près à la même distance des miroirs. Ce grand rapprochement des différentes parties de l'appareil était nécessaire pour conserver aux rayons une intensité suffisante. Il faut remarquer qu'il rendrait très-confuses des franges un peu fines, en raison de la largeur sensible de la ligne lumineuse produite par une lentille d'un centimètre de foyer; et voilà principalement pourquoi il est très-important de donner aux franges le plus de largeur possible. On obtiendrait bien une ligne éclairante plus fine avec une lentille d'un plus court foyer; mais l'intensité de la lumière serait affaiblie dans le même rapport; et pour compenser cet affaiblissement, il faudrait rapprocher en proportion les miroirs et le muriate d'argent de la lentille; ce qui ramenerait la même confusion dans les franges, si elles n'avaient pas une largeur suffisante. C'est la condition la plus difficile à remplir; mais avec un peu d'adresse et beaucoup de patience on en vient toujours à bout.[1]

[1] Cet exposé de l'expérience de M. Arago est de M. Fresnel.

TABLES

PRÉSENTANT LE POIDS DE L'ATOME DE TOUTES LES SUBSTANCES EXAMINÉES AVEC SOIN JUSQU'A CE JOUR.

(Les corps, dans la première Table, sont disposés d'après le poids de l'atome, et dans la seconde par ordre alphabétique.)

TABLE Ire.

	Poids de l'atome hydr. = 1.	Poids de l'atome oxig. = 1.
Hydrogène	1	0,125
Carbone	6	0,750
Bore	7	0,875
Oxigène	8	1,000
Silice	8	1,000
Hydrogène carboné	8	1,000
Aluminium	9	1,125
Eau	9	1,125
Lithium	10	1,250
Magnesium	12	1,500
Phosphore	12	1,500
Hydrog. de phosphore	13	1,625
Azote	14	1,750
Oxide de carbone	14	1,750
Gaz oléfiant	14	1,750
Bihydrogène de phosphore	14	1,750
Soufre	16	2,000
Silice	16	2,000
Fluor	16	2,000
Ammoniaque	17	2,125
Alumine	17	2,125
Hydrogène sulfuré	17	2,125
Deutoxide d'hydrog.	17	2,125
Glucinium	18	2,250
Lithine	18	2,250
Phosphure de carbone	18	2,250
Magnésie	20	2,500
Acide phosphoreux	20	2,500
Calcium	20	2,500
Acide carbonique	20	2,750
Protoxide d'azote	22	2,750
Acide borique	23	2,875
Acide fluoborique	23	2,875
Alcool	23	2,875
Sodium	24	3,000
Acide hyposulfureux	24	3,000
Acide fluosilicique	24	3,000
Glucine	26	3,250
Cyanogène	26	3,250
Nickel	26	3,250
Cobalt	26	3,250
Acide hydro-cyanique	27	3,375
Fer	28	3,500
Manganèse	28	3,500
Chrôme	28	3,500
Acide phosphorique	28	3,500
Phosphure de soufre	28	3,500
Chaux	28	3,500
Deutoxide d'azote	30	3,750
Néphrine (urée)	30	3,750
Soude	32	4,000
Acide sulfureux	32	4,000
Tellure	32	4,000
Ittrium	32	4,000
Zinc	34	4,250
Protoxide de nickel	34	4,250
Protoxide de cobalt	34	4,250

	Poids de l'atome hydr.=1.	Poids de l'atome oxig.=1.
Chlore	36	4,500
Protoxide de fer	36	4,500
Protoxide de manganèse	36	4,500
Acide oxalique	36	4,500
Acide hydrochlorique	37	4,625
Acide formique	37	4,625
Zirconium ?	37	4,625
Éther sulfurique	37	4,625
Arsenic	38	4,750
Acide hyponitreux	38	4,750
Sulfure de carbone	38	4,750
Potassium	40	5,000
Yttria	40	5,000
Acide sulfurique	40	5,000
Oxide de tellure	42	5,000
Sulfure de sodium	40	5,000
Selenium	41	5,125
Oxide de zinc	41	5,250
Hydrogène séléniuré	42	5,250
Sulfure de cobalt	42	5,280
Strontium	44	5,500
Protoxide de manganèse	44	5,500
Protoxide de chlore	44	5,500
Sulfure de fer	44	5,500
Acide purpurique ?	44	5,500
Antimoine	45	5,625
Zircone ?	45	5,625
Acide urique ?	45	5,625
Cerium	46	5,750
Acide nitreux	46	5,750
Acide lactique	46	5,750
Chlorure de lithium	46	5,750
Molybdène	48	6,000
Potasse	48	6,000
Iridium	48	6,000
Protochlorure de phosphore	48	6,000
Chlorure de magnesium	48	6,000
Oxide de selenium	49	6,125
Acide mellitique ?	49	6,125
Sulfure de zinc	50	6,250
Acide succinique	50	6,250
Acide chloro-carbonique	50	6,250
Éther chlorique	50	6,250
Acide acétique	51	6,375
Strontiane	52	6,500
Acide chromique	52	6,500
Acide manganésique	52	6,500
Chlorure de soufre	52	6,500
Acide nitrique	54	6,750
Protoxide de cerium	54	6,750
Acide arsenieux	54	6,750
Cadmium	56	7,000
Palladium	56	7,000
Oxide de molybdène	56	7,000
Sulfure de potassium	56	7,000
Chlorure de calcium	56	7,000
Acide sélénique	57	7,125
Etain	59	7,375
Acide citrique	59	7,375
Acide sulfocbyazique	59	7,373
Chlorure de sodium	60	7,500
Persulfure de fer	60	7,500
Acide antimonique	61	7,625
Acide arsenique	62	7,750
Acide chlorocyanique	62	7,750
Acide gallique	63	7,875
Cuivre	64	8,000
Oxide de calcium	64	8,000
Oxide de palladium	64	8,000
Peroxide de potassium	64	8,000
Chlorure de fer	64	8,000
Acide molybdeux	64	8,000
Éther hydro-chlorique	65	8,125
Sesquisulfure de selenium	65	8,125
Acide tartrique	67	8,375
Protoxide d'étain	67	8,375
Deutoxide de chlore	68	8,500
Sous-bichlorure de soufre	68	8,500
Chlorure de zinc	70	8,750
Barium	70	8,750
Bismuth	71	8,875
Tannin	71	8,875
Acide molybdique	72	9,000
Protoxide de cuivre	72	9,000
Peroxide de sodium	72	9,000
Sulfure de cadmium	72	9,000
Sulfure de palladium	72	9,000

	Poids de l'atome hydr.=1.	Poids de l'atome oxig.=1.
Acide hyposulfurique.	72	9,000
Peroxide d'étain.....	75	9,375
Protosulfure d'étain.....	75	9,375
Acide chlorique.....	76	9,500
Chlorure de potassium.	76	9,500
Peroxide de cobalt....	76	9,500
Peroxide de nickel....	76	9,500
Baryte.....	78	9,750
Oxide de bismuth....	79	9,875
Éther acétique.....	79	9,875
Peroxide de cuivre....	80	10,000
Peroxide de fer.....	80	10,000
Sulfure de cuivre.....	80	10,000
Sucre.....	81	10,125
Perchlorure de phosphore.....	84	10,500
Peroxide de barium...	86	10,750
Sulfure de bismuth...	87	10,875
Chlorure de strontiane.	88	11,000
Gomme.....	90	11,250
Persulfure d'étain....	91	11,375
Acide perchlorique...	92	11,500
Chlorure de cadmium.	92	11,500
Protochlorure d'étain.	95	11,875
Tungstène.....	96	12,000
Perchlorure de fer....	100	12,500
Protochlorure de cuivre.....	100	12,500
Persulfure de bismuth.	103	12,875
Plomb.....	104	13,000
Acide saccholactique .	105	13,125
Chlorure de barium..	106	13,250
Chlorure de bismuth..	107	13,375
Realgar.....	108	13,500
Argent.....	110	13,750
Protoxide de plomb...	112	14,000
Oxide brun de tungstène.....	112	14,000
Bichlorure de selenium.....	113	14,125
Peroxide de cerium...	116	14,500
Séléniure d'arsenic...	117	14,625
Oxide d'argent.....	118	14,750
Rhodium.....	120	15,000
Peroxide de plomb....	120	15,000
Sulfure de plomb.....	120	15,000
Acide tungstique.....	120	15,000

	Poids de l'atome hydr.=1.	Poids de l'atome oxig.=1.
Acide benzoïque.....	120	15,000
Orpiment.....	124	15,500
Iode.....	125	15,625
Urane.....	125	15,625
Acide hydriodique....	126	15,750
Sulfure d'argent.....	126	15,750
Protoxide de rhodium.	128	16,000
Perchlorure d'étain...	131	16,375
Protoxide d'urane....	133	16,625
Sulfure d'étain.....	134	16,750
Persulfure de plomb..	136	17,000
Perchlorure de cuivre.	136	17,000
Deutoxide de rhodium.	136	17,000
Iodure de phosphore..	137	17,125
Chlorure de plomb...	140	17,500
Iodure de soufre.....	141	17,625
Amidon.....	142	17,750
Columbium.....	144	18,000
Titane ?.....	144	18,000
Peroxide de rhodium..	144	18,000
Iodure de calcium.....	145	18,125
Chlorure d'argent.....	146	18,250
Pyrites cubiques.....	146	18,250
Iodure de sodium.....	149	18,625
Deutosulfure d'étain..	150	18,750
Protoxide de titane...	152	19,000
Acide columbique....	152	19,000
Iodure de fer.....	153	19,125
Éther hydriodique....	154	19,250
Iodure de zinc.....	158	19,750
Chlorure d'azote.....	158	19,750
Peroxide de titane....	160	20,000
Acide iodique.....	165	20,625
Iodure de potassium..	165	20,625
Iodure de strontium...	169	21,125
Iodure de cadmium...	181	22,625
Platine.....	181	22,625
Iodure de cuivre.....	189	23,625
Protoxide de platine..	189	23,625
Iodure de barium.....	195	24,375
Iodure de bismuth....	196	24,500
Acide chloriodique...	197	24,625
Or.....	199	24,875
Mercure.....	200	25,000
Peroxide de platine...	205	25,625
Protoxide d'or.....	207	25,875
Protoxide de mercure.	208	26,000

	Poids de l'atome hydr.=1.	Poids de l'atome oxig.=1.
Peroxide de mercure	207	27,000
Sulfure de mercure	216	27,000
Peroxide d'or	223	27,875
Iodure de plomb	229	28,625
Oxide rouge de plomb	232	29,000
Iodure d'argent	235	29,375
Periodure de phosphore	262	32,750
Acide margarique	264	33,000
Peroxide d'urane	274	34,250
Acide oléique	288	36,000
Morphine	322	40,250
Picrotoxine	360	45,000
Strychnine	381	47,625
Brucine	412	51,500

TABLE II.

	Poids de l'atome.
A.	
Acide acétique	6,375
— antimonique	7,625
— arsenieux	6,750
— arsenique	7,750
— benzoïque	15,000
— borique	2,875
— carbonique	2,750
— chlorique	9,500
— chloro-oxicarbonique	6,250
— chlorocyanique	7,750
— chloriodique	24,625
— chromique	6,500
— citrique	7,375
— columbique	19,000
— fluoborique	2,875
— formique	4,625
— gallique	7,875
— hydriodique	15,750
— hydrochlorique	4,625
— hyponitreux	4,750
— hyposulfurique	9,000
— hyposulfureux	3,000
— iodique	20,625
— lactique	5,750
— manganésique	6,500
— margarique	33,000
— mellitique	6,125
— molybdeux	8,000
— molybdique	9,000
— nitreux	5,750
— nitrique	6,750
— oléique	36,000
— oxalique	4,500
— perchlorique	11,500
— phosphoreux	2,500
— phosphorique	3,500
— purpurique	—
— saccho-lactique	13,125
— sélénique	7,125
Acide succinique	6,250
— sulfochyazique	7,375
— sulfureux	4,000
— sulfurique	5,000
— tartrique	8,375
— tungstique	15,000
— urique	5,625
Alcool	2,875
Alumine	2,125
Aluminium	1,125
Amidon	17,750
Ammoniaque	2,125
Antimoine	5,625
Argent	13,750
Arsenic	4,750
Azote	1,750
B.	
Barium	8,750
Baryte	9,750
Bichlorure de sélénium	14,125
Bihydrure de phosphore	1,750
Bismuth	8,875
Bore	0,875
Brucine	51,500
C.	
Cadmium	7,000
Calcium	2,625
Carbone	0,750
Cerium	5,750
Chlore	4,500
Chlorure d'argent	18,240
— d'azote	19,750
— de barium	13,250
— de bismuth	13,475
— de cadmium	11,500
— de calcium	7,000
— de fer	8,000
— de lithium	5,750
— de magnesium	6,000

	Poids de l'atome.
Chlorure de plomb	17,500
— de potassium	9,600
— de sodium	7,500
— de soufre	6,500
— de strontium	11,000
— de zinc	8,750
Chaux	3,500
Chrôme	3,500
Cobalt	3,250
Columbium	18,000
Cuivre	18,250
Cyanogène	3,250

D.

Deutoxide d'azote	3,750
— de chlore	8,500
— d'hydrogène	2,125
— de rhodium	17,000
— d'étain	18,750

E.

Eau	1,125
Étain	7,375
Éther acétique	9,875
— chlorique	6,250
— hydriodique	19,250
— hydrochlorique	8,125?
— nitrique	10,250
— sulfurique	4,625

F.

Fer	3,500
Fluor	2,000

G.

Gaz oléfiant	1,750
Glucine	3,250
Glucinium	2,250
Gomme	11,250

H.

Hydrogène	0,125
— carboné	1,000
— séléniuré	1,625
— sulfuré	2,125
Hydrure de phosphore	5,250

I.

Iode	15,625
Iodure d'argent	29,375
— de barium	24,375
— de bismuth	24,500
— de cadmium	22,625
— de calcium	18,125
— de cuivre	23,625
— de fer	19,125
— de phosphore	17,125
— de plomb	28,625
— de potassium	20,625
— de strontium	21,125
— de soufre	17,625
Iridium	6,000

L.

Lithine	2,250
Lithium	1,250

M.

Magnésie	2,500
Magnesium	1,500
Manganèse	3,500
Mercure	24,000
Molybdène	6,000
Morphine	40,250

N.

Néphrine (urée)	3,750
Nickel	3,250

O.

Orpiment	15,500
Oxide de bismuth	9,875
— d'argent	14,750
— de cadmium	8,000
— de palladium	8,000
— de sélénium	6,125
— de tellure	5,000
— de zinc	5,250
— brun de tungstène	14,000
— rouge de plomb	29,000
Oxigène	1,000

	Poids de l'atome.
P.	
Palladium	7,000
Perchlorure de cuivre	17,000
— d'étain	16,375
— de fer	12,500
— de phosphore	10,500
Periodure de phosphore	32,750
Peroxide de barium	10,750
— de cérium	14,500
— de cobalt	9,500
— de cuivre	10,000
— d'étain	9,875
— de fer	10,000
— de manganèse	5,500
— de mercure	27,000
— de nickel	7,500
— d'or	27,875
— de platine	25,625
— de plomb	15,000
— de potassium	8,000
— de rhodium	18,000
— de sodium	9,000
— de titane	20,000
— d'urane	35,250
Persulfure de bismuth	12,875
— d'étain	11,375
— de fer	7,500
— de plomb	17,000
Phosphore	1,500
Phosphure de carbone	2,250
— de soufre	3,500
Picrotoxine	45,000
Platine	22,625
Plomb	13,000
Potasse	6,000
Potassium	5,000
Protochlorure de cuivre	12,500
— d'étain	11,875
— de phosphore	6,000
Protosulfure d'étain	9,575
Protoxide d'azote	2,750
— de cerium	6,750
— de chlore	5,500
— de cobalt	4,250
— de cuivre	9,000
Protoxide d'étain	8,375
— de fer	4,500
— de manganèse	4,500
— de mercure	26,500
— de molybdène	7,000
— de nickel	4,250
— d'or	25,875
— de platine	23,625
— de rhodium	16,000
— de titane	10,000
— d'urane	16,625
Pyrites cubiques	18,255
R.	
Réalgar	13,500
Rhodium	15,000
S.	
Sélénium	5,125
Séléniure d'arsenic	14,625
Sesquisulfure de sélénium	8,125
Silice	2,000
Silicium	1,000
Sodium	3,000
Soude	4,000
Soufre	2,000
Strontiane	6,500
Strontium	5,500
Strychnine	47,625
Sucre	10,125
Sulfure d'argent	15,750
— de bismuth	10,875
— de cadmium	9,000
— de carbone	4,750
— de cobalt	5,250
— de cuivre	10,000
— d'étain	16,750
— de fer	5,500
— de mercure	27,000
— de palladium	9,000
— de plomb	15,000
— de potassium	7,000
— de sodium	5,000
— de zinc	6,250
T.	
Tannin	8,875

	Poids de l'atome.
Tellure	—
Titane	18,000
Tungstène	12,000
U.	
Urane	15,625
Y.	
Yttria	3,000
Yttrium	4,000
Z.	
Zinc	4,125
Zircone	5,625
Zirconium [1]	4,625

1 6e édition de Thomson, vol. IV, p. 614.

TABLE III.

PESANTEURS SPÉCIFIQUES

Des fluides élastiques, celle de l'air étant prise pour l'unité.[1]

NOMS des fluides élastiques.	DENSITÉS.	POIDS d'un litre de gaz à 0°, et sous la pression de 0,76.	NOMS des observateurs.
Air	1,0000	1,2991	
Vapeur d'iode	8,6195	11,1976	Gay-Lussac.
Vapeur d'éther hydriodique	5,4739	7,1124	*id.*
Vap. d'essence de térébenth.	5,0130	5,5123	*id.*
Acide hydriodique	4,4430	5,7535	*id.*
—— fluosilicique	3,5735	4,6423	John Davy.
—— chloro-oxicarbonique.	3,3894	4,4032	*id.*
Vapeur de sulfure de carb.	2,6447	3,4357	Gay-Lussac.
—— d'éther sulfurique	2,5808	3,3527	Berzélius et Dulong.
Chlore	2,4700	3,2088	Gay-Lussac et Thénard.
Protoxide de chlore	2,3144	3,0066	Gay-Lussac.
Vap. d'éther hydrochloriq.	2,2190	2,8827	Thénard.
Gaz sulfureux	2,1930	2,8489	Davy.
Gaz chlorocyanique	2,1113	2,7428	Gay-Lussac.
Cyanogène	1,8188	2,3628	Berzélius et Dulong.
Vapeur d'alcool absolu	1,6004	2,0791	*id.*
Protoxide d'azote	1,5273	1,9841	*id.*
Acide carbonique	1,5240	1,9798	*id.*
Gaz hydrochlorique	1,2474	1,6205	Biot et Arago.
Gaz hydrosulfurique	1,1912	1,5475	Gay-Lussac et Thénard.
Gaz oxigène	1,1026	1,4324	Berzélius et Dulong.
Deutoxide d'azote	1,0010	1,3004	*id.*
Gaz oléfiant	0,9804	1,2736	*id.*
Gaz azote	0,9760	1,2679	*id.*
Gaz oxide de carbone	0,9727	1,2636	*id.*
Vapeur hydrocyanique	0,9438	1,2261	*id.*
Hydrogène phosphuré	0,8700	1,1302	*id.*
Vapeur d'eau	0,6200	0,8054	Berzélius et Dulong.
Gaz ammoniacal	0,5912	0,7680	*id.*
Gaz hydrogène carboné	0,5590	0,7262	*id.*
Gaz hydrogène arsénié	0,5290	0,6872	Tromsdorff.
Gaz hydrogène	0,0688	0,0893	Berzélius et Dulong.

1 Tous les nombres marqués Berzélius et Dulong sont extraits du mémoire publié dans les Annales de chimie et de physique, tome XV, page 386; les autres sont ceux donnés par M. Gay-Lussac dans le 1er volume du même recueil. R.